

Trabajo Fin de Grado

Evaluación del riesgo de inundación fluvial en municipios oscenses ribereños de los ríos Aragón y Gállego.

Autora

Beatriz Liesa Palacín

Directores

Alfredo Ollero Ojeda
Alfredo Serreta Oliván

Escuela Politécnica Superior de Huesca
2015

RESUMEN

Las inundaciones constituyen el riesgo natural de mayor frecuencia y de mayor importancia socioeconómica, tanto en España como globalmente. En general, el riesgo ha aumentado progresivamente en las últimas décadas por incremento de la exposición y en ocasiones también de la vulnerabilidad. El grado de riesgo de una localidad puede determinarse mediante un índice que integre los tres factores, peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, pero no existe un consenso sobre cómo elaborarlo y aplicarlo. En este trabajo se elabora un índice que permite cumplir el objetivo propuesto: analizar y comparar el actual riesgo de inundación de ocho localidades seleccionadas ribereñas de los ríos Aragón y Gállego en la provincia de Huesca (Aragón, España). También se estudia la evolución del riesgo desde 1956 en un caso concreto, Villanúa, en función de la variación de la exposición y la vulnerabilidad de esa localidad. Los resultados obtenidos permiten concluir que Canfranc-Estación es la localidad con mayor riesgo de inundación. Además se ha constatado que el riesgo aumenta debido al crecimiento urbanístico en el territorio fluvial. Con la exposición actual, es necesario trabajar en la reducción de la vulnerabilidad de las localidades, mejorando los planeamientos urbanos y la educación en el riesgo. Además, el índice de riesgo y la cartografía de zonas inundables resultan buenas herramientas para la divulgación y concienciación sobre el riesgo de inundación.

Palabras clave: peligrosidad, zonas inundables, exposición, vulnerabilidad, cartografía.

ABSTRACT

Floods are the natural risk with the highest frequency and socioeconomic importance, both in Spain and globally. Generally, the risk has increased progressively during the last decades due to the increment in exposure and sometimes in vulnerability. The degree of risk of a location can be determined by an index which integrates the three factors, hazard, exposure and vulnerability, but there is not an agreement on how to elaborate and apply it. In this work it is elaborated an index that allows to achieve the proposed objective: to analyze and to compare the current flood risk in eight selected locations, riverine of the Aragón and Gállego rivers in the province of Huesca (Aragón, Spain). It is also studied the evolution in risk since 1956 in a specific case, Villanúa, depending on the variation of exposure and vulnerability in that location. The obtained results allow to conclude that Canfranc-Estación is the location with the highest flood risk. In addition, it has been proved that risk increases because of the urban growth in the river territory. With the current exposure, it is needed to work on reducing the vulnerability of the locations, improving the urban plannings and the education on risk. Besides, the risk index and the mapping of floodplains result good tools for divulgation and awareness of flood risk.

Key words: hazard, floodplains, exposure, vulnerability, mapping.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	1
1.1. Contextualización.	1
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos.....	6
1.4. Antecedentes	7
1.4.1. Marco legislativo (europeo y español)	7
1.4.2. Evaluación y gestión de los riesgos de inundación: Directiva 2007/60/CE y Real Decreto 903/2010.....	9
1.4.3. Protección Civil.....	15
1.4.4. Estudios realizados.	22
1.5. Área de estudio	26
1.5.1. El río Aragón	27
1.5.2. El río Gállego.....	30
2. Metodología.....	33
2.1. Preselección de localidades.....	34
2.2. Datos de peligrosidad y exposición en el área de estudio.....	34
2.3. Elaboración del índice de riesgo de inundación.....	35
2.4. Elaboración de la cartografía	43
2.4.1. Cartografía de la situación actual.....	44
2.4.2. Cartografía del año 1956.....	46
2.5. Entrevistas a los ayuntamientos	46
2.6. Observaciones de campo.....	47
2.7. Información obtenida sobre Protección Civil en el área de estudio.....	48
2.8. Procesamiento de datos.....	48
2.8.1. A partir de las entrevistas a ayuntamientos y de las observaciones de campo	48
2.8.2. A partir de ArcGis	50
3. Resultados.....	50
3.1. Factores del riesgo: peligrosidad y exposición.	51
3.1.1. Peligrosidad: hidrología y crecidas.	52

3.1.2. Exposición: núcleos de población.	56
3.2. Evaluación del riesgo.	71
3.2.1. Río Aragón: Canfranc-Estación	71
3.2.2. Río Aragón: Canfranc-Pueblo	85
3.2.3. Río Aragón: Villanúa	96
3.2.4. Río Aragón: Castiello de Jaca.....	119
3.2.5. Río Aragón: Jaca.....	135
3.2.6. Río Gállego: Biescas.....	148
3.2.7. Río Gállego: Sabiñánigo	160
3.2.8. Río Gállego: Gurrea de Gállego.....	171
3.3. Interpretación comparativa.....	182
4. Discusión	188
5. Conclusiones.....	192
Agradecimientos.....	194
Bibliografía.....	195
Anexos	211
Anexo I. Catálogo de Medios y Recursos del PLATEAR.....	213
Anexo II. Modelo de entrevista a ayuntamientos.....	216
Anexo III. Modelo de plantilla para las observaciones de campo.....	218
Anexo IV. Resultados de las diferentes variables y valores otorgados.....	219
Anexo V. Datos para el cálculo de la variable PEX y resultados.....	223
Anexo VI. Datos para el cálculo de la variable USO.....	224
Anexo VII. Datos de caudales y aportaciones en los aforos de Jaca y Anzánigo. 1949/1950-2011/2012.....	230
Anexo VIII. Detalle de los registros de inundaciones históricas.....	266
Anexo IX. Datos demográficos de las localidades estudiadas.....	270
Anexo X. Entrevista con D. Fernando Sánchez, alcalde de Canfranc.....	271
Anexo XI. Observaciones de campo y mediciones en Canfranc.....	273
Anexo XII. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Canfranc-Estación.....	287

Anexo XIII. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Canfranc-Pueblo	293
Anexo XIV. Entrevista con D. Luis Terrén, alcalde de Villanúa	299
Anexo XV. Observaciones de campo y mediciones en Villanúa	301
Anexo XVI. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Villanúa	311
Anexo XVII. Entrevista con D. Álvaro Salesa, alcalde de Castiello de Jaca	321
Anexo XVIII. Observaciones de campo y mediciones en Castiello de Jaca	325
Anexo XIX. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Castiello de Jaca	335
Anexo XX. Entrevista con D. José Manuel Ramón, alcalde de Jaca	341
Anexo XXI. Observaciones de campo y mediciones en Jaca	343
Anexo XXII. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Jaca	351
Anexo XXIII. Entrevista con D. Luis Estaún, alcalde de Biescas	357
Anexo XXIV. Observaciones de campo y mediciones en Biescas	359
Anexo XXV. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Biescas	368
Anexo XXVI. Entrevista con D. Jesús Lasierra, alcalde de Sabiñánigo	374
Anexo XXVII. Observaciones de campo y mediciones en Sabiñánigo	376
Anexo XXVIII. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Sabiñánigo	383
Anexo XXIX. Entrevista con D. Carlos Til, alcalde de Gurrea de Gállego	388
Anexo XXX. Observaciones de campo y mediciones en Gurrea de Gállego	390
Anexo XXXI. Mapas de usos de suelo en zonas inundables según nivel de peligrosidad en Gurrea de Gállego	400

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los riesgos naturales según las víctimas causadas y la población afectada a nivel mundial.....	2
Tabla 2. Clases de riesgo y situaciones generadoras de emergencias correspondientes.....	18
Tabla 3. Riesgo por inundaciones: escenarios probables, consecuencias previsibles y zonas principales de riesgo en Aragón.....	19
Tabla 4. Rangos de valoración de los diferentes factores del índice de riesgo de inundación.....	24
Tabla 5. Clasificación de los riesgos según su valoración.....	25
Tabla 6. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PEX.....	36
Tabla 7. Rangos establecidos para la evaluación de la variable CAC.....	37
Tabla 8. Rangos establecidos para la evaluación de la variable USO.....	37
Tabla 9. Rangos establecidos para la evaluación de la variable INF.....	38
Tabla 10. Rangos establecidos para la evaluación de la variable MCE.....	38
Tabla 11. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PRO.....	39
Tabla 12. Rangos establecidos para la evaluación de la variable REG.....	40
Tabla 13. Rangos establecidos para la evaluación de la variable EFN.....	40
Tabla 14. Rangos establecidos para la evaluación de la variable TDR.....	41
Tabla 15. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PRD.....	42
Tabla 16. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PRV.....	42
Tabla 17. Rangos establecidos para la evaluación de la variable EDU.....	43
Tabla 18. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PLU.....	44
Tabla 19. Diferentes datos de caudal y aportación anuales medios en el aforo del río Aragón en Jaca.....	52
Tabla 20. Diferentes datos de caudal y aportación anuales medios en el aforo del río Gállego en Anzánigo.....	54
Tabla 21. Datos de caracterización de los municipios estudiados.....	70
Tabla 22. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Canfranc-Estación.....	71
Tabla 23. Rango y valor de la variable CAC en Canfranc-Estación.....	72
Tabla 24. Rango y valor de la variable USO para una peligrosidad muy baja en Canfranc-Estación.....	73

Tabla 25. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).....	74
Tabla 26. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad baja en Canfranc-Estación.....	74
Tabla 27. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	75
Tabla 28. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	76
Tabla 29. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy alta en Canfranc-Estación.....	77
Tabla 30. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).....	78
Tabla 31. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Canfranc-Estación según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	78
Tabla 32. Rango y valor de la variable REG en Canfranc-Estación.....	80
Tabla 33. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Canfranc-Estación.....	80
Tabla 34. Rango y valor de la variable TDR en Canfranc-Estación.....	81
Tabla 35. Rango y valor de la variable PRD en Canfranc-Estación.....	81
Tabla 36. Rango y valor de la variable PRV en Canfranc.....	82
Tabla 37. Rango y valor de la variable EDU en Canfranc.....	82
Tabla 38. Rango y valor de la variable PLU en Canfranc.....	83
Tabla 39. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Canfranc-Estación.....	84
Tabla 40. Índices de riesgo en Canfranc-Estación.....	84
Tabla 41. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy alta en Canfranc-Pueblo.....	85
Tabla 42. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy alta en Canfranc-Pueblo.....	86
Tabla 43. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Canfranc-Pueblo.....	87
Tabla 44. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).....	87
Tabla 45. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	88

Tabla 46. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad alta en Canfranc-Pueblo.....	89
Tabla 47. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	90
Tabla 48. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).....	91
Tabla 49. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Canfranc-Pueblo según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	91
Tabla 50. Rango y valor de la variable REG en Canfranc-Pueblo.....	93
Tabla 51. Rango y valor de la variable TDR en Canfranc-Pueblo.....	93
Tabla 52. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Canfranc-Pueblo	94
Tabla 53. Rango y valor de la variable PRD en Canfranc-Pueblo.....	94
Tabla 54. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Canfranc-Pueblo.....	95
Tabla 55. Índices de riesgo en Canfranc-Pueblo.....	95
Tabla 56. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Villanúa.....	96
Tabla 57. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Villanúa.....	97
Tabla 58. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Villanúa.....	98
Tabla 59. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).....	99
Tabla 60. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	100
Tabla 61. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad alta en Villanúa	100
Tabla 62. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	101
Tabla 63. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).....	102
Tabla 64. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Villanúa según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	103
Tabla 65. Rango y valor de la variable REG en Villanúa.....	105
Tabla 66. Rango y valor de la variable TDR en Villanúa.....	105

Tabla 67. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Villanúa.....	105
Tabla 68. Rango y valor de la variable PRD en Villanúa.....	106
Tabla 69. Rango y valor de la variable PRV en Villanúa.....	106
Tabla 70. Rango y valor de la variable EDU en Villanúa.....	107
Tabla 71. Rango y valor de la variable PLU en Villanúa.....	108
Tabla 72. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Villanúa.....	108
Tabla 73. Índices de riesgo en Villanúa.....	109
Tabla 74. Rango y valor de la variable CAC en Villanúa en 1956.....	109
Tabla 75. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) entre 1956 y la actualidad.....	110
Tabla 76. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) entre 1956 y la actualidad.....	111
Tabla 77. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) entre 1956 y la actualidad.....	112
Tabla 78. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) entre 1956 y la actualidad.....	113
Tabla 79. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Villanúa según niveles de peligrosidad y valores otorgados, en la situación actual y en la de 1956.....	114
Tabla 80. Rango y valor de la variable MCE en Villanúa en 1956.....	115
Tabla 81. Rango y valor de la variable REG en Villanúa en 1956.....	115
Tabla 82. Rango y valor de la variable PRD en Villanúa en 1956.....	116
Tabla 83. Rango y valor de la variable PRV en Villanúa en 1956.....	116
Tabla 84. Rango y valor de la variable EDU en Villanúa en 1956.....	117
Tabla 85. Rango y valor de la variable PLU en Villanúa en 1956.....	117
Tabla 86. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Villanúa en 1956 y en la actualidad.....	118
Tabla 87. Índices de riesgo en Villanúa en 1956.....	118
Tabla 88. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Castiello de Jaca.....	122
Tabla 89. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Castiello de Jaca.....	123

Tabla 90. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Castiello de Jaca.....	124
Tabla 91. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).....	125
Tabla 92. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	126
Tabla 93. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	127
Tabla 94. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).....	128
Tabla 95. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Castiello de Jaca según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	129
Tabla 96. Rango y valor de la variable REG en Castiello de Jaca.....	131
Tabla 97. Rango y valor de la variable TDR en Castiello de Jaca.....	132
Tabla 98. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Castiello de Jaca....	132
Tabla 99. Rango y valor de la variable PRD en Castiello de Jaca.....	133
Tabla 100. Rango y valor de la variable PRV en Castiello de Jaca.....	133
Tabla 101. Rango y valor de la variable EDU en Castiello de Jaca.....	134
Tabla 102. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Castiello de Jaca..	134
Tabla 103. Índices de riesgo en Castiello de Jaca.....	135
Tabla 104. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Jaca.....	136
Tabla 105. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Jaca.....	136
Tabla 106. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Jaca.....	137
Tabla 107. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).....	138
Tabla 108. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad baja en Jaca....	138
Tabla 109. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	139
Tabla 110. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	140

Tabla 111. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).....	141
Tabla 112. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Jaca según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	142
Tabla 113. Rango y valor de la variable REG en Jaca.....	143
Tabla 114. Rango y valor de la variable TDR en Jaca.....	144
Tabla 115. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Jaca.....	144
Tabla 116. Rango y valor de la variable PRD en Jaca.....	144
Tabla 117. Rango y valor de la variable PRV en Jaca.....	145
Tabla 118. Rango y valor de la variable EDU en Jaca.....	145
Tabla 119. Rango y valor de la variable PLU en Jaca.....	147
Tabla 120. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Jaca.....	147
Tabla 121. Índices de riesgo en Jaca.....	148
Tabla 122. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Biescas.....	148
Tabla 123. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Biescas.....	149
Tabla 124. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Biescas.....	150
Tabla 125. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).....	151
Tabla 126. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad baja en Biescas.....	151
Tabla 127. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	152
Tabla 128. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	153
Tabla 129. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).....	154
Tabla 130. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Biescas según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	155
Tabla 131. Rango y valor de la variable REG en Biescas.....	156
Tabla 132. Rango y valor de la variable TDR en Biescas.....	157
Tabla 133. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Biescas.....	157

Tabla 134. Rango y valor de la variable PRD en Biescas.....	157
Tabla 135. Rango y valor de la variable PRV en Biescas.....	158
Tabla 136. Rango y valor de la variable EDU en Biescas.....	158
Tabla 137. Rango y valor de la variable PLU en Biescas.....	159
Tabla 138. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Biescas.....	159
Tabla 139. Índices de riesgo en Biescas.....	160
Tabla 140. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Sabiñánigo.....	161
Tabla 141. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Sabiñánigo.....	161
Tabla 142. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Sabiñánigo.....	162
Tabla 143. Valores de las variables de exposición en Sabiñánigo para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años)	163
Tabla 144. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad baja en Sabiñánigo.....	163
Tabla 145. Valores de las variables de exposición en Sabiñánigo para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	164
Tabla 146. Valores de las variables de exposición en Sabiñánigo para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	165
Tabla 147. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Sabiñánigo según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	166
Tabla 148. Rango y valor de la variable REG en Sabiñánigo.....	167
Tabla 149. Rango y valor de la variable TDR en Sabiñánigo.....	167
Tabla 150. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Sabiñánigo.....	167
Tabla 151. Rango y valor de la variable PRD en Sabiñánigo.....	168
Tabla 152. Rango y valor de la variable PRV en Sabiñánigo.....	168
Tabla 153. Rango y valor de la variable EDU en Sabiñánigo.....	169
Tabla 154. Rango y valor de la variable PLU en Sabiñánigo.....	170
Tabla 155. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Sabiñánigo.....	170
Tabla 156. Índices de riesgo en Sabiñánigo.....	171

Tabla 157. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Gurrea de Gállego.....	172
Tabla 158. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Gurrea de Gállego.....	172
Tabla 159. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Gurrea de Gállego.....	173
Tabla 160. Valores de las variables de exposición en Gurrea de Gállego para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).....	174
Tabla 161. Valores de las variables de exposición en Gurrea de Gállego para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).....	175
Tabla 162. Valores de las variables de exposición en Gurrea de Gállego para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).....	176
Tabla 163. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Gurrea de Gállego según niveles de peligrosidad y valores otorgados.....	177
Tabla 164. Rango y valor de la variable REG en Gurrea de Gállego.....	178
Tabla 165. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para el tiempo de reacción respecto al río Gállego en Gurrea de Gállego.....	179
Tabla 166. Rango y valor de la variable TDR en Gurrea de Gállego.....	179
Tabla 167. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para el tiempo de reacción respecto al río Sotón en Gurrea de Gállego.....	179
Tabla 168. Rango y valor de la variable PRD en Gurrea de Gállego.....	180
Tabla 169. Rango y valor de la variable PRV en Gurrea de Gállego.....	180
Tabla 170. Rango y valor de la variable EDU en Gurrea de Gállego.....	181
Tabla 171. Rango y valor de la variable PRV en Gurrea de Gállego.....	181
Tabla 172. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Gurrea de Gállego.....	181
Tabla 173. Índices de riesgo en Gurrea de Gállego.....	182
Tabla 174. Resumen de los índices de riesgo de inundación obtenidos en cada localidad según nivel de peligrosidad.....	183
Tabla 175. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad muy baja.....	183
Tabla 176. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad baja.....	184

Tabla 177. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad alta.....184

Tabla 178. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad muy alta.....184

Tabla 179. Resultados de los índices de riesgo y clasificación de los mismos mediante rangos de niveles de peligrosidad independientes.....185

Tabla 180. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo independientemente del nivel de peligrosidad.....186

Tabla 181. Resultados de los índices de riesgo y clasificación de los mismos mediante rangos independientes del nivel de peligrosidad.....186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del caudal anual medio y la aportación anual media del río Aragón a su paso por Jaca. 1949-2012.....	52
Figura 2. Evolución del caudal anual medio y la aportación anual media del río Gállego a su paso por Anzónigo. 1949-2012.....	54
Figura 3. Evolución demográfica en Canfranc. 1900-1991.....	57
Figura 4. Evolución demográfica en Canfranc. 1998-2014.....	57
Figura 5. Evolución demográfica en Villanúa. 1990-1991.....	58
Figura 6. Evolución demográfica en Villanúa. 1998-2014.....	59
Figura 7. Evolución demográfica en Castiello de Jaca. 1990-1991.....	60
Figura 8. Evolución demográfica en Castiello de Jaca. 1998-2014.....	61
Figura 9. Evolución demográfica en Jaca. 1990-1991.....	62
Figura 10. Evolución demográfica en Jaca. 1998-2014.....	62
Figura 11. Evolución demográfica en Biescas. 1990-1991.....	64
Figura 12. Evolución demográfica en Biescas. 1998-2014.....	65
Figura 13. Evolución demográfica en Sabiñánigo. 1990-1991.....	66
Figura 14. Evolución demográfica en Sabiñánigo. 1998-2014.....	66
Figura 15. Evolución demográfica en Gurrea de Gállego. 1990-1991.....	68
Figura 16. Evolución demográfica en Gurrea de Gállego. 1998-2014.....	68
Figura 17. Porcentaje de primeras y segundas viviendas y oferta turística en las localidades estudiadas.....	69
Figura 18. Viviendas más próximas al cauce en Canfranc-Estación.....	70
Figura 19. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Canfranc-Estación.....	73
Figura 20. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Canfranc-Estación.....	75
Figura 21. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Canfranc-Estación.....	76
Figura 22. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Canfranc-Estación.....	77
Figura 23. Canalización con graderío en la zona norte urbana de Canfranc-Estación.....	79
Figura 24. Muro en la margen derecha en el sur del núcleo urbano de Canfranc-Estación.....	79

Figuras 25 y 26. Viviendas y paseo junto a la iglesia, punto más cercano al cauce.....	86
Figura 27. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Canfranc-Pueblo.....	87
Figura 28. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Canfranc-Pueblo.....	88
Figura 29. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Canfranc-Pueblo.....	89
Figura 30. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Canfranc-Pueblo.....	90
Figura 31. Tramo de escollera en la margen izquierda en Canfranc-Pueblo para la protección de campos de cultivo.....	92
Figura 32. Escolleras en Canfranc-Pueblo para la protección del paseo y del sotobosque....	92
Figura 33. Escolleras en Canfranc-Pueblo para la protección del paseo y del sotobosque....	92
Figura 34. Campo de fútbol, en la margen derecha.....	97
Figura 35. Lateral de la casa de información turística, en la margen izquierda.....	97
Figura 36. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Villanúa.....	98
Figura 37. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Villanúa.....	99
Figura 38. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Villanúa.....	101
Figura 39. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Villanúa.....	102
Figura 40. Escollera en la margen derecha para la protección de viviendas.....	104
Figura 41. Escollera en la margen izquierda para la protección de la casa de información turística.....	104
Figura 42. Escollera en la margen derecha para la protección del paseo junto al río.....	104
Figura 43. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Villanúa en el año 1956.....	110
Figura 44. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Villanúa en el año 1956.....	111
Figura 45. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Villanúa en el año 1956.....	112

Figura 46. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Villanúa en el año 1956.....	113
Figura 47. Viviendas en la desembocadura del barranco Casadioses.....	120
Figuras 48 y 49. Graderío leve y pequeño muro junto a recinto de gas, parque infantil y banco. Barranco Casadioses.....	120
Figuras 50 y 51. Tramo junto a zona verde. Barranco Casadioses.....	121
Figura 52. Tramo escalonado con entubamiento al fondo. Barranco Casadioses.....	121
Figuras 53 y 54. Tramo naturalizado pero con diques en el cauce y laderas actuadas. Barranco Casadioses.....	122
Figura 55. Urbanización Dos Valles en Castiello de Jaca.....	123
Figura 56. Afecciones en la urbanización El Molino tras la crecida de octubre de 2012 y obras de reconducción en el cauce principal.....	123
Figura 57. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Castiello de Jaca.....	124
Figura 58. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Castiello de Jaca.....	126
Figura 59. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Castiello de Jaca.....	127
Figura 60. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Castiello de Jaca.....	128
Figura 61. Escollera en la margen derecha aguas arriba de la urbanización El Molino.....	130
Figura 62. Escollera en la margen izquierda, frente a la urbanización El Molino.....	130
Figura 63. Escollera en la margen derecha desde el puente del ferrocarril hasta el de la carretera a Bescós de la Garcipollera.....	130
Figura 64. Muro y escollera en la margen derecha para la protección de la urbanización Dos Valles y del campo de fútbol, respectivamente.....	131
Figura 65. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Jaca.....	137
Figura 66. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Jaca.....	139
Figura 67. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Jaca.....	140
Figura 68. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Jaca.....	141

Figura 69. Muro en la zona del aforo del río Aragón en Jaca.....	143
Figura 70. Viviendas junto al puente en la margen derecha.....	149
Figura 71. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Biescas.....	150
Figura 72. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Biescas.....	152
Figura 73. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Biescas.....	153
Figura 74. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Biescas.....	154
Figuras 75 y 76. Muro en ambas márgenes del río Aragón en Biescas.....	156
Figura 77. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Sabiñánigo.....	162
Figura 78. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Sabiñánigo.....	164
Figura 79. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Sabiñánigo.....	165
Figura 80. Viviendas en la margen derecha del Sotón, a la izquierda del puente de entrada a Gurrea de Gállego.....	173
Figura 81. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Gurrea de Gállego.....	174
Figura 82. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Gurrea de Gállego.....	175
Figura 83. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Gurrea de Gállego.....	176
Figura 84. Represación para el desvío de caudal hacia el canal de la central hidroeléctrica en Gurrea de Gállego.....	178

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTUALIZACIÓN.

- Los riesgos naturales.

Una inundación, un terremoto o un deslizamiento de ladera, entre otros, son procesos naturales, no riesgos por sí mismos. El riesgo exige que ese proceso afecte a un territorio ocupado por el ser humano y que, por tanto, pueda causar daños a personas y bienes (Bryant, 1991; Ledoux, 2006; Olcina, 2007; Ollero, 2014).

Los desastres naturales no son un fenómeno reciente. En los relatos históricos y en los mitos son frecuentes las referencias a episodios de inundación (hambrunas causadas por la sequía, temporales de viento o terremotos). El carácter catastrófico de los mismos obedece, por lo general, a inadecuadas actuaciones humanas sobre el territorio, sean por motivos de supervivencia (ocupación de llanos de inundación para aprovechamiento agrario) o por intereses económicos que minusvaloran los peligros climáticos (Bryant, 1991; Olcina, 2007).

Hasta la mitad del siglo XIX, la civilización occidental veía los riesgos como “actos de Dios”, como castigos a los pecados. El terremoto de Lisboa de 1775 también fue visto desde esa perspectiva, pero Kant y Rousseau consideraron el desastre como un evento natural y enfatizaron la necesidad de evitar construir en lugares peligrosos (Bryant, 1991).

Sin embargo, la preocupación por estos eventos extraordinarios y el esfuerzo por indagar sus causas y efectos sí son relativamente recientes. La ONU declaró la década de los 90 (1991-2000) como el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, con el fin de establecer un marco internacional para mejorar el conocimiento y coordinar acciones de defensa y prevención de los desastres naturales (Olcina, 2007). Este Decenio derivó en una estrategia permanente, firmada en 2001: la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. En consonancia con esta, en 2005 se firmó en Japón el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015, en el que los países firmantes se comprometieron a introducir en las políticas públicas los conceptos de prevención y evaluación de riesgos, así como las guías de actuación para enfrentar los desastres.

A nivel global, los episodios de rango extraordinario que causan un mayor impacto socio-territorial son los vinculados a eventos pluviométricos (sequías e inundaciones), debido a su alta frecuencia y a la elevada vulnerabilidad y exposición de las poblaciones (Olcina, 2007).

A nivel global, el análisis de las mayores catástrofes naturales entre 1900 y 2005 ha permitido realizar clasificaciones de los riesgos que más afectan a las poblaciones. Los eventos pluviométricos – inundaciones y sequías – son los que causan un mayor impacto, como se desprende de la Tabla 1 (Olcina, 2007).

Tabla 1. Clasificación de los riesgos naturales según las víctimas causadas y la población afectada a nivel mundial. (Olcina, 2007).

Según víctimas	Según población afectada
1. Inundaciones	1. Sequías
2. Sequías	2. Inundaciones
3. Ciclones tropicales	3. Ciclones tropicales
4. Sismicidad	4. Sismicidad
5. Deslizamientos	5. Deslizamientos
6. Temperaturas extremas	6. Temperaturas extremas
7. Temporales de viento	7. Temporales de viento

España es uno de los espacios geográficos de Europa más afectado por los peligros naturales. En el periodo 1990-2000 las pérdidas anuales por riesgos de la naturaleza ascendieron a 7.350 millones de euros, correspondiendo un elevado porcentaje de estos (60-75%) a pérdidas en el sector agrario (Olcina, 2007).

Durante el Decenio Internacional Para La Reducción De Desastres Naturales 1990-1999, se registraron en España 1.094 víctimas mortales de riesgos naturales: más de 100 víctimas anuales de media. El orden de estos riesgos según importancia socioeconómica y territorial y frecuencia de aparición, es el siguiente (Olcina, 2007):

- 1- Lluvias abundantes o torrenciales con efectos de inundación
- 2- Secuencias de sequía
- 3- Temporales de viento
- 4- Olas de frío y calor
- 5- Tormentas de granizo
- 6- Aludes
- 7- Sismicidad

Además, en el mismo estudio se señala que “a ellos cabría añadir fenómenos muy locales con una menor incidencia como tornados, rayos o deslizamientos de terreno causados por lluvias”.

- El riesgo de inundación.

En la Directiva 2007/60/CE, una inundación se define como un “anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua”, aunque en verdad es más que eso. Es el proceso mediante el cual el río regula sus crecidas, inundando el espacio fluvial adyacente (cauces secundarios y llanuras de inundación) y consiguiendo así reducir la energía y la altura de la crecida conforme avanza aguas abajo. Las inundaciones son procesos naturales, que pueden considerarse eventos extraordinarios por su baja frecuencia y su alta intensidad, pero no son raros ni imprevisibles (Ollero, 2014).

Por lo general, las inundaciones suponen entre el 30-40% del total de episodios naturales de consecuencias catastróficas ocurridas en el mundo anualmente; si bien su participación en el conjunto de víctimas producidas por los peligros de la naturaleza se sitúa, generalmente, por debajo del 20% (Olcina, 2007). En España, entre 1971 y 2013, el 68,9% de la siniestralidad indemnizada por el Consorcio de Compensación de Seguros correspondía a daños por inundaciones, estimados en una media de 800 millones de euros anuales (Ollero, 2014).

Olcina (2007) señala que en la Península Ibérica se dan varios tipos de inundaciones, según el fenómeno que las causa:

- inundaciones provocadas por precipitaciones torrenciales ($>100\text{mm}/24\text{h}$) o intensas ($30\text{mm}/30\text{min}$), hablándose, si la respuesta del aparato fluvial afectado es casi instantánea, de inundaciones relámpago (*flash-floods*);
- inundaciones masivas, que afectan a grandes colectores (Ebro, Duero, Guadalquivir, Guadiana, etc.), causadas por lluvias abundantes y regulares, generalmente de origen frontal, que, tras varias jornadas, provocan un crecimiento desmesurado de los caudales;
- desbordamientos causados por deshielos rápidos en cursos de montaña a raíz de lluvias conectivas de primavera o frontales de invierno;
- avenidas provocadas por roturas de embalses, generalmente por efecto de lluvias muy copiosas que rebasan la capacidad de los mismos (episodio de Puentes, en 1802, en el Guadalentín, y de Tous, en el Júcar, en 1982).

De todos estos tipos, las *flash-floods* son las más frecuentes en España, siendo la fachada mediterránea la más castigada (Olcina, 2007). Estas inundaciones se caracterizan por presentar efectos muy localizados, pudiendo provocar grandes erosiones y daños debido a la elevada fuerza de las corrientes (Bryant, 1991).

- Los estudios de riesgo. Peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

Cualquier riesgo natural está constituido por tres factores: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

La peligrosidad se refiere a la probabilidad de ocurrencia del evento y a sus características; la exposición, a las personas y bienes que pueden sufrir daños; y la vulnerabilidad, a las pérdidas que puedan tener lugar (Olcina, 2007; Ollero, 2014).

Para Ledoux (2006), la definición de vulnerabilidad como el grado de pérdidas resultantes de un fenómeno susceptible de generar víctimas y daños materiales empobrece el propio concepto, pues no considera que el estudio de la vulnerabilidad pueda aportar el conocimiento sobre el origen de la “fragilidad” del territorio y la comunidad expuesta. A partir de este conocimiento es cuando se pueden proponer medidas de acción para reducir dicha fragilidad.

Concretamente, el análisis de vulnerabilidad debe responder a preguntas como “¿por qué tal inundación potencial es susceptible de provocar daños?”, “¿por qué tal territorio, tal comunidad, puede superar o no una catástrofe?” (Ledoux, 2006).

Del producto de los tres factores enunciados resulta el nivel de riesgo, que puede ser cuantificado, comparado y cartografiado. Además, se debe tener en cuenta otro factor, el tiempo, a lo largo del cual puede variar el nivel de riesgo (Ollero, 2014).

El análisis del riesgo debe perseguir la mitigación, entendida como las medidas tomadas independientemente de situaciones de emergencia o desastre y que deben enfatizar el carácter preventivo (Ayala-Carcedo y González-Jiménez, 2006).

Estas medidas pueden ser estructurales o no-estructurales. Las principales medidas estructurales frente al riesgo de inundación se resumen en presas, diques fluviales, canales, etc.; y las principales medidas no estructurales, comunes a todos los riesgos, son sistemas de prevención y alerta temprana, la ordenación del territorio, la educación y entrenamiento de la población frente al riesgo y los sistemas de seguros (Ayala-Carcedo y González-Jiménez, 2006).

Ledoux (2006) afirma que desde la década de 1990 las medidas estructurales han dejado de verse como la panacea, debido principalmente a cuatro motivos:

- Las obras de protección generan un sentimiento erróneo de seguridad entre la población, que lleva a aumentar la exposición.
- La presencia de estas obras agrava el riesgo más que reducirlo: por un parte hacen desaparecer la consciencia de riesgo entre la población, y por otra, el riesgo natural pasa a ser uno tecnológico (posible rotura de las obras).
- Degradan la dinámica de los hidrosistemas y causan impactos ecológicos en el medio acuático.
- Son costosas de implantar y mantener.

Ayala y González (2006) comparten alguna de estas argumentaciones en contra y señalan que sólo se debería recurrir a medidas estructurales en aquellos casos en los que la aplicación de medidas de ordenación de territorio no sea posible por existir asentamientos muy consolidados.

También Ledoux (2006) trata el tema del planeamiento urbano. Sin embargo, frente a dichos casos, propone mejorar la protección de esos asentamientos mediante una renovación de la cultura del riesgo, dar a conocer los planes de actuación o revisar el estado de las obras de defensa. Además, señala que los ríos y las riberas son los grandes olvidados de la gestión del territorio.

Por otro lado, como apunta Bryan (2006), la mitigación y supervivencia a cualquier riesgo natural depende en última instancia de las actitudes de los individuos, de la comunidad que lo sufre. Si estas unidades sociales pudieran reconocer el potencial de los riesgos en su medio ambiente y prevenir antes de que tuvieran lugar, habría menos pérdidas de vidas y bienes.

Por eso, los estudios de riesgo deben ser entendibles por el mayor número de receptores posibles, no sólo por instituciones y comunidad científica. La comunicación del conocimiento producido es indispensable por dos motivos: las medidas a adoptar necesitan ser explicadas para ser entendidas, y necesitan tener adhesión por parte de las comunidades locales. Una manera de acercar estos estudios es que los colectivos locales sean partícipes en la producción científica, sin por ello desvalorizar a los expertos (por ejemplo, aportando información sobre eventos pasados o sobre los cambios en el río). En pocas palabras, es necesario “comunicarse con”, no “comunicar a”; es decir, escuchar y dialogar, no sólo transmitir (Ledoux, 2006).

Para terminar, y a raíz de esta reflexión, cabe hacer aquí otra. La educación en el riesgo puede llegar a ser tan importante como la ordenación territorial, pues por ayudar a la toma de consciencia, se puede llegar a generar una sociedad que sepa, realmente, convivir con el riesgo.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Como ya se ha indicado, el concepto “riesgo” implica presencia humana: personas y bienes están expuestos al evento. En España, las inundaciones constituyen el riesgo natural de mayor importancia socio-económica y territorial, además de ser el más frecuente (Olcina, 2007). A pesar de ser procesos naturales necesarios, que rigen el funcionamiento de los cursos fluviales (Ollero, 2014), pueden causar graves daños, incrementados por la creciente ocupación del territorio fluvial, ya sea con uso urbano, industrial o agrario.

Un índice de riesgo es una herramienta que determina el grado de riesgo de una región en función de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. A pesar de su interés para la prevención y gestión, hasta ahora los índices de riesgo han sido mayormente utilizados como aproximación teórica, pues no existe un consenso sobre cómo elaborarlos y aplicarlos.

El presente trabajo va a establecer un modelo de índice de riesgo que será utilizado para la evaluación de la correspondiente área de estudio, pero que pretende ser extensible a cualquier otra área. Así mismo, la elaboración y aplicación de este índice permitirá, por un lado, comprender qué variables socio-territoriales son las que más influyen en el riesgo de inundación, y por otro, comparar el riesgo de inundación actual entre las diferentes localidades estudiadas y comparar el riesgo actual con el de 1956 en el caso de Villanúa.

Con todo esto, la evaluación cuantitativa del riesgo de inundación aquí propuesta y la información recogida para llegar a ella podrán ser de utilidad para instituciones públicas, entidades privadas gestoras y consultoras, administración pública a diferentes niveles (local, comarcal, regional), usuarios de los ríos Aragón y Gállego, y poblaciones ribereñas de los mismos.

1.3. OBJETIVOS

El **objetivo principal** de este estudio es analizar y comparar el actual riesgo de inundación de las ocho localidades seleccionadas, así como estudiar la evolución del riesgo desde 1956 en un caso concreto, Villanúa, en función de la variación de la exposición y la vulnerabilidad de esa localidad.

Para alcanzar este objetivo, se deben lograr primero otros **específicos**:

- Identificar y seleccionar las variables socio-territoriales de exposición y vulnerabilidad que influyen en el riesgo de inundación, con el fin de incorporarlas al índice de riesgo.
- Analizar la situación actual de cada localidad seleccionada respecto a cada una de esas variables.
- Conocer la situación en 1956 de Villanúa respecto a cada una de las variables.
- Establecer un método de evaluación de las variables.
- Definir un método de cálculo del índice de riesgo de inundación.
- Determinar una valoración final a partir de los resultados de la aplicación del índice de riesgo de inundación.

1.4. ANTECEDENTES

1.4.1. MARCO LEGISLATIVO (EUROPEO Y ESPAÑOL)

A nivel europeo, ya la Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, impone la elaboración de planes de gestión de cuenca fluvial para cada demarcación hidrográfica. Aunque la elaboración de dichos planes de gestión no constituye en sí mismo un objetivo de la Directiva, indica que contribuirán a mitigar los efectos de las inundaciones. Además resalta la necesidad de cooperación y coordinación entre Estados miembros y terceros estados para avanzar en la prevención y atenuación de inundaciones. Este mismo principio también se recoge en el Convenio de las Naciones Unidas sobre la protección y uso de los cursos de agua transfronterizos y los lagos internacionales, aprobado por la Decisión 95/308/CE.

La Directiva 2000/60/CE es incorporada al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto Legislativo 1/2001.

El primer paso en otorgar protagonismo a la gestión de los riesgos de inundación es la comunicación de 12 de julio de 2004 de la Comisión, <<Gestión de los riesgos de inundación – Prevención, protección y mitigación de las inundaciones>>, que refuerza la idea de que una acción coordinada y concertada a nivel comunitario aportaría un valor añadido considerable.

Sólo tres años más tarde aparece la primera Directiva en abarcar plenamente el riesgo de inundación: Directiva 2007/60/CE, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Al ser esta el eje principal de los estudios desarrollados en la actualidad en el ámbito de inundaciones, se le dedica en este trabajo un apartado propio (1.4.2.).

En España, las primeras referencias al riesgo de inundación aparecen en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986 y modificado y revisado varias veces (la última en septiembre de 2013 (Real Decreto 670/2013)), para incorporar nuevos matices de acuerdo a las normas que van apareciendo, como el texto refundido de la Ley de Aguas (Ley 1/2001). En dicho Reglamento se menciona que la creciente presión sobre los cauces reduce el espacio fluvial, menoscabando la protección ambiental del dominio público hidráulico e incrementando los riesgos a inundaciones. Todo esto deja ver la necesidad de legislar adecuadamente para prevenir y evitar los posibles efectos negativos.

Dos años más tarde, en 1988, se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, mediante el Real Decreto 927/1988, que ha sido modificado sustancialmente varias veces: Real Decreto 907/2007, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica; Real Decreto 1383/2009, por el que se determina la composición, estructura orgánica y funcionamiento del Consejo Nacional del Agua; y Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

Por otro lado, la problemática supra-referida que presenta el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y la búsqueda de soluciones también han sido recogidas en el Plan Hidrológico Nacional, aprobado por la Ley 10/2001 y modificado por la Ley 11/2005 y por la Ley 21/2013, y en el Real Decreto Legislativo 2/2008, que aprueba la Ley de Suelo.

Un par de años más tarde, se promulga el Real Decreto 903/2010, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, que traspone la Directiva 2007/60/CE. Estas dos normas, por su importancia en los estudios de inundaciones en España, se detallan en el apartado 1.4.2. de este trabajo.

Por otro lado, el Plan Hidrológico de la Demarcación Hydrográfica del Ebro, cuenca en la que se enmarca este estudio, se recoge en el Real Decreto 129/2014.

Además de los aspectos propiamente hidrológicos, al hablar de inundaciones hay otros aspectos a tratar por influir en los posibles efectos negativos, por lo que el marco legislativo a abordar es mucho más amplio.

En España, la Ley 16/2002, de prevención y control integrados de la contaminación recoge las instalaciones industriales que pueden ocasionar contaminación accidental en caso de inundación. Su consulta es obligada a la hora de elaborar mapas de riesgo de inundación, según recoge el Real Decreto 903/2010. Además, los planes de gestión del riesgo de inundación a los que hace referencia este mismo Real Decreto (ver 1.4.2.), deben someterse a procedimiento de evaluación ambiental estratégica, conforme a lo establecido en la Ley 9/2006, sobre Evaluación de Determinados Planes y Programas en el Medio Ambiente, vigente en el momento de redacción del Real Decreto pero derogada más tarde por la Ley 21/2013, de evaluación ambiental.

Por otro lado, el derecho a información y participación pública está recogido en la legislación europea en las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE, y en la española en la Ley 27/2006.

Otro aspecto a abordar es el de la protección civil. Por su complejidad e importancia en el ámbito de los riesgos naturales, se le dedica en este trabajo un apartado propio (1.4.3.) en el que se recoge el ordenamiento jurídico comunitario, estatal y autonómico correspondiente.

Por último, cabe destacar dos normas importantes de delimitación territorial. Por un lado, el Real Decreto 125/2007, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas; y en Aragón, el Decreto Legislativo 1/2006, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Comarcalización de Aragón.

1.4.2. EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN: DIRECTIVA 2007/60/CE Y REAL DECRETO 903/2010.

La Directiva europea 2007/60/CE relativa a la evaluación y la gestión de los riesgos de inundación, y el Real Decreto 903/2010, que la traspone al ordenamiento jurídico español, tienen como objetivo principal reducir las consecuencias de las inundaciones sobre la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica. Esta Directiva obliga a los Estados miembros a llevar a cabo una evaluación del riesgo de inundación para cada demarcación hidrográfica o unidad de gestión, evaluación que se divide en tres fases, cuya presentación debe cumplir los horizontes temporales señalados en la Directiva.

- ❖ Fase 1 (antes de 22 de diciembre de 2011). Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI).

[Capítulo II, p.30 de la Directiva; y Capítulo II, pp.61958-61959 del Real Decreto].

Con base en la información disponible (datos registrados y estudios realizados), se realiza una evaluación preliminar del riesgo con objeto de proporcionar una evaluación del riesgo potencial, que ha de contener:

- mapas de la demarcación hidrográfica, que muestren los límites de cuencas y subcuencas, la topografía y los usos del suelo;
 - descripción de las inundaciones ocurridas en el pasado que hayan tenido impactos negativos significativos y que tengan una probabilidad significativa de volver a producirse;
 - descripción de las inundaciones de importancia ocurridas en el pasado cuando puedan preverse consecuencias adversas de futuros acontecimientos similares,
- y en función de las necesidades específicas de los Estados miembros:
- evaluación de las consecuencias negativas potenciales de futuras inundaciones teniendo en cuenta factores como la topografía, la localización de los cursos de agua y sus características hidrológicas y geomorfológicas generales, incluidas las llanuras aluviales como zonas de retención naturales, la eficacia de las infraestructuras artificiales existentes de protección contra las inundaciones, la localización de las zonas pobladas, de las zonas de actividad económica y el panorama de evolución a largo plazo.

El Real Decreto 903/2010 añade en este último punto que dicha evaluación se incluirá cuando la información disponible sobre inundaciones ocurridas en el pasado no sea suficiente para determinar las zonas sometidas a un riesgo potencial de inundación significativo. Además, incorpora otro punto relativo a las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición.

En la Directiva, el capítulo termina señalando que, con base en la evaluación preliminar de riesgo, los Estado miembros han de determinar las zonas para las cuales hayan llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo. Sin embargo, en el Real Decreto esto aparece nada más comenzar el artículo, señalado como el objetivo final de la evaluación preliminar de riesgo.

El Real Decreto 903/2010 impone otro plazo. Los organismos de cuenca y las Administraciones competentes, responsables de la elaboración de las evaluaciones preliminares del riesgo de inundación, deben haberlas remitido al Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino antes del 1 de octubre de 2011.

Por último, tanto la Directiva como su trasposición fijan en el 22 de diciembre de 2018 la primera revisión de la documentación de esta fase. Las siguientes serán cada seis años.

- ❖ Fase 2 (antes de 22 de diciembre de 2013). Mapas de peligrosidad de inundación y mapas de riesgo de inundación.

[Capítulo III, pp.30-31 de la Directiva; y Capítulo III, pp.61959-61960 del Real Decreto].

Los mapas de peligrosidad por inundaciones incluirán las zonas geográficas que podrían inundarse según los escenarios siguientes:

- baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (matizado como periodo de retorno igual a 500 años en el Real Decreto);
- probabilidad media de inundación (periodo de retorno ≥ 100 años, ya expresado así en la Directiva);
- alta probabilidad de inundación, cuando proceda.

Para cada uno de estos escenarios, se indicarán los elementos siguientes:

- extensión de la inundación;
- calados del agua o nivel de agua, según proceda;
- velocidad de la corriente o caudal de agua, cuando proceda.

El Real Decreto, adiciona puntos referidos a inundaciones costeras y un requisito nuevo: la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía.

En cuanto a los mapas de riesgo, la Directiva señala que mostrarán las consecuencias adversas potenciales asociadas a la inundación en los diferentes escenarios señalados mediante los parámetros siguientes:

- número indicativo de habitantes que pueden verse afectados;
- tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada;

- instalaciones industriales a que se refiere el Anexo I de la Directiva 96/61/CE, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (y su trasposición mediante Ley 16/2002), y zonas protegidas que puedan verse afectadas, indicadas en el Anexo IV, punto 1, incisos i), iii) y v) de la Directiva 2000/60/CE (especificadas en el Real Decreto 903/2010 como “zonas protegidas para la captación de agua destinadas al consumo humano, masas de agua de uso recreativo y zonas para la protección de hábitats o especies”).

- cualquier otra información que el Estado miembro considere útil, como la indicación de zonas en las que puedan producirse inundaciones con alto contenido de sedimentos transportados y flujos de derrubios e información sobre otras fuentes importantes de contaminación (a lo que el Real Decreto añade que también se puede analizar la infraestructura viaria que pueda verse afectada).

Para finalizar, el Real Decreto añade disposiciones comunes a la cartografía de peligrosidad y riesgo, que dice que ha de constituir la información de base para los Planes de gestión del riesgo de inundación.

En primer lugar, apunta a los organismos de cuenca y las administraciones competentes como responsables de la realización de la misma, apoyados por las autoridades de Protección Civil.

Por otro lado, obliga a la integración de dicha cartografía en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y, con el fin de que tenga la condición de cartografía oficial, se ha de inscribir en el Registro Central de Cartografía (Real Decreto 1545/2007).

El plazo fijado por el Real Decreto 903/2010 para que los organismos de cuenca y las Administraciones competentes remitan al Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino es el 1 de junio de 2013. La primera revisión deberá realizarse antes del 22 de diciembre de 2019, y las siguientes cada seis años.

❖ Fase 3 (antes de 22 de diciembre de 2015). Planes de gestión del riesgo de inundación.

[Capítulo IV, pp.31-32 de la Directiva; y Capítulo IV, pp.61960-61962 del Real Decreto].

Se elaborarán con base en los mapas de peligrosidad y riesgo y se establecerán objetivos adecuados a la gestión del riesgo, centrando su atención en la reducción de las consecuencias adversas potenciales y en iniciativas no estructurales para reducir la probabilidad de ocurrencia.

Tendrán en cuenta aspectos pertinentes tales como los costes y beneficios, la extensión de la inundación y las vías de evacuación, así como las zonas con potencial de retención de las inundaciones (como las llanuras aluviales), los objetivos medioambientales del artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE (y del artículo 92bis de su trasposición, el Real Decreto Legislativo 1/2001), la gestión del suelo y del agua, la ordenación del territorio, el uso del suelo, la conservación de la naturaleza, la navegación e infraestructuras de puertos.

El Real Decreto 903/2010 añade que los planes de gestión de riesgo de inundación abarcarán todos los aspectos de la gestión, centrándose en la prevención, protección y preparación, incluidos la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana. Además, han de promover las prácticas de uso sostenible del suelo, medidas para la restauración hidrológico-agroforestal, la mejora de la retención de aguas y la inundación controlada de determinadas zonas en caso de inundación.

En España, los organismos de cuenca y las Administraciones competentes son los responsables de su realización y de su sometimiento a consulta pública, como en todas las fases. También deberán elevarlo al Gobierno de la Nación, a propuesta de los Ministerios de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino e Interior, para su aprobación mediante Real Decreto. Antes, los Ministerios deberán remitir los Planes al Consejo Nacional del Agua y a la Comisión Nacional de Protección Civil, para su informe. Además, son objeto del procedimiento de evaluación ambiental estratégica conforme a lo establecido en la Ley 9/2006 (vigente en el momento de redacción del Real Decreto 903/2010, derogado más tarde por la Ley 21/2013, de evaluación ambiental).

Los organismos de cuenca y las Administraciones competentes deberán haber remitido los planes de gestión del riesgo al Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino antes del 1 de junio de 2015. Además, el plazo para su primera revisión terminará el 22 de diciembre de 2021, y las siguientes deberán realizarse cada seis años.

En cuanto a la coordinación con los planes hidrológicos de cuenca, el Real Decreto 903/2010 afirma que estos incorporarán los criterios sobre estudios, actuaciones y obras para prevenir y evitar los daños debidos a inundaciones, avenidas y otros fenómenos hidráulicos a partir de lo establecido en los planes de gestión de riesgo de inundación. Además, estos planes de gestión incorporarán un resumen del estado y los objetivos ambientales de cada masa de agua con riesgo potencial significativo por inundación. La elaboración de los primeros planes de gestión del riesgo y sus

revisiones posteriores se han de realizar en coordinación con las revisiones de los planes hidrológicos de cuenca y podrán integrarse en dichas revisiones.

Por otro lado, los instrumentos de ordenación territorial y urbanística no podrán incluir determinaciones que no sean compatibles con el contenido de los planes de gestión del riesgo de inundación, y reconocerán el carácter rural de los suelos en los que concurran dichos riesgos.

También los planes de protección civil se adaptarán de forma coordinada para considerar la inclusión en los mismos de los mapas de peligrosidad y riesgo, y al contenido de los planes de gestión del riesgo de inundación.

Por último, deberán ser también compatibles con estos planes los referentes a desarrollo agrario, de política forestal, de infraestructura del transporte y demás que tengan incidencia sobre las zonas inundables.

En relación con las consultas públicas, la Directiva impone que la documentación de las tres fases se ponga a disposición del público y se fomente la participación activa de las partes interesadas. El Real Decreto, por su parte, corrobora esta obligación que deposita en manos de las Administraciones competentes, que deben seguir los requerimientos de la Ley 27/2006, de derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente. Indica, además, que la información debe estar accesible en las páginas electrónicas de las Administraciones competentes, al menos, en las del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, y del Ministerio del Interior.

Presentadas estas normativas, y para cerrar el apartado, es preciso señalar cómo la Confederación Hidrográfica del Ebro (por ser la competente en el área de estudio de este trabajo) ha ido llevando a cabo las fases.

El 1 de junio de 2011 se sometía a consulta pública, por tres meses, la documentación correspondiente a la Evaluación Preliminar de Riesgo de Inundación, en la que se identificaron en la cuenca más de trescientos tramos fluviales como Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación. Por tanto, se entiende que se cumplió el plazo de comunicación al Ministerio (octubre de 2011) y de publicación (diciembre de 2011).

En junio de 2013 se inició la consulta pública de la segunda fase de la Directiva en el Sistema de Información Territorial del Ebro (SITEbro). Desde entonces hasta el 31 de diciembre se fueron incorporando todos los datos requeridos por la Directiva y el Real Decreto. Los plazos para la comunicación al Ministerio y para la publicación eran, respectivamente, 1 de junio y 22 de diciembre de 2013, por lo que el último no se llegó a cumplir completamente. Además, a día de hoy (noviembre de 2015), aún se encuentra incompleta la información relativa a Dominio Público Hidráulico, a Zonas de Flujo Preferente y a Zonas Inundables para un periodo de retorno de 10 años.

Por último, el 30 de diciembre de 2014 se publicó en el BOE la resolución de la Dirección General del Agua por la que se anuncia la apertura del período de consulta e información pública de los documentos “Propuesta de Proyecto de revisión del Plan Hidrológico, Proyecto de Plan de Gestión del Riesgo de Inundación y Estudio Ambiental Estratégico” correspondientes al proceso de planificación 2015-2021 de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. Los plazos para su comunicación al Ministerio y su publicación son 1 de junio y 22 de diciembre de 2015. El primero se cumplió holgadamente, mientras que queda pendiente ver si se cumple el segundo.

1.4.3. PROTECCIÓN CIVIL

La protección civil es una de las medidas no estructurales para hacer frente a las inundaciones que, junto a los sistemas de alerta y la ordenación del territorio, se ha ido implantando de forma creciente en las últimas décadas como complemento a las medidas estructurales del enfoque más tradicional, que se han revelado en muchos casos como insuficientes.

Las bases de la legislación en protección civil como se conoce ahora se asientan en las últimas décadas del siglo XX, tanto en España como en Aragón.

Así, a nivel estatal, cabe destacar, entre el ordenamiento jurídico en esta materia, la Ley 2/1985, sobre Protección Civil, y el Real Decreto 407/1992, que aprueba la Norma Básica de Protección Civil. Establecen el sistema español de protección civil, determinan las competencias de las diversas Administraciones Públicas y definen las situaciones de riesgo que quedan sujetas a planificación mediante la correspondiente Directriz Básica de Planificación, de ámbito estatal (desarrollada por las comunidades autónomas a través de Planes Especiales de Emergencia).

En 1994 comienzan a detallarse matices, como son los criterios de asignación de medios y recursos de titularidad estatal a los planes territoriales de Protección Civil (Resolución de 4 de julio de 1994).

Un año más tarde, aparece el protagonismo de las inundaciones, publicándose la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (Resolución de 31 de enero de 1995).

Ya terminando el siglo XX, se promulga en España el Real Decreto 1123/2000 (modificado por Real Decreto 285/2006), por el que se regula la creación e implantación de unidades de apoyo ante desastres, reforzado un año más tarde por la Decisión 2001/792/CE, que establece un mecanismo comunitario para facilitar una cooperación reforzada en las intervenciones de ayuda en el ámbito de la protección civil. En base a estas regulaciones, se crea en España en 2002 la Comisión Nacional de Protección Civil, mediante Real Decreto 967/2002.

Por último, la incorporación más reciente al ordenamiento jurídico español en este ámbito es el Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones (Resolución de 2 de agosto de 2011).

Antes de pasar a la legislación autonómica, cabe resaltar el trabajo de dos organismos de la protección civil a nivel nacional. El primero es el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas, llevado a cabo por la Dirección General de Protección Civil desde el año 1995 y en continua actualización (la última en diciembre de 2010). El segundo, los diferentes estudios realizados en 1985 por la Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (CTEI), integrada por diferentes Ministerios competentes en la materia. Se publicaron, para cada una de las diez grandes cuencas hidrográficas de la península ibérica, los siguientes estudios:

- Análisis de inundaciones históricas.
- Identificación y clasificación de las zonas potencialmente amenazadas por riesgos de inundación.
- Catálogo de acciones más adecuadas, en cada zona de riesgo detectada, para corregir o reducir los daños ocasionados por las inundaciones.

A pesar del tiempo transcurrido desde la elaboración de estos estudios y de no haber sido actualizados, mantienen su interés como documentación histórica, por lo que su consulta resulta obligada al realizar trabajos de investigación en el campo de las inundaciones.

Entrando ya en el ordenamiento jurídico en materia de protección civil en Aragón, en 1995, sólo unos meses más tarde de la publicación estatal de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, se aprueba el Plan Territorial de Protección Civil de Aragón, mediante el Decreto 109/1995. Este se complementa mediante la Orden de 30 de abril de 1996, que regula los Planes de Emergencia de Protección Civil de ámbito municipal, supramunicipal o comarcal.

Como resultado de la revisión de ese Plan de 1995, en el año 2002 se aprueba la Ley 30/2002, de Protección Civil y Atención de Emergencias de Aragón, modificada por la Ley 15/2003 y la Ley 4/2004. Constituye un marco de gestión de emergencias en el que el Gobierno de Aragón ostenta la dirección y coordinación máximas de la protección civil en la Comunidad Autónoma, y es el competente para aprobar el Plan de Protección Civil de Aragón, los planes especiales y las directrices generales de prevención y autoprotección.

Por otro lado, en 2005 se crea la Comisión de Protección Civil de Aragón, regulada por el Decreto 94/2005.

Si bien las inundaciones aparecen propiamente en el ámbito estatal de la protección civil en el año 1995, en Aragón lo hacen a finales del 2006, con la publicación del Plan Especial de Protección Civil de Emergencias por Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Aragón, mediante el Decreto 237/2006.

Ya en 2010, se regula en Aragón la estructura y organización del Registro de Planes de Protección Civil (Decreto 24/2010). Y para terminar, cabe destacar la última versión del Plan Territorial de Protección Civil de Aragón, aprobado mediante el Decreto 220/2014, que se desarrolla a continuación.

El Plan Territorial de Protección Civil de Aragón (PLATEAR) se define como el instrumento organizativo general de respuesta a situaciones de emergencias, catástrofe o calamidades en el ámbito territorial de la comunidad autónoma de Aragón.

Es un documento formado por un conjunto de normas y procedimientos, que prevé el marco orgánico-funcional y los mecanismos que permiten la movilización y la organización de los recursos humanos y materiales necesarios para hacer frente a las emergencias de protección civil que puedan presentarse en Aragón.

Tiene el carácter de Plan Director, al prever la integración de los planes de protección civil de orden inferior, estableciendo las directrices para la elaboración y aprobación de los mismos, así como el mecanismo de interfaz de activación entre todos ellos.

Pretende fundamentalmente un doble objetivo: por un lado proporcionar un instrumento de respuesta inmediata ante un riesgo susceptible de generar una situación de emergencia, y por otro, como Plan Director, establecer las normas para la elaboración de los planes de emergencia de orden inferior, de tal manera que se prevea la interfaz entre ellos.

Los planes territoriales de orden inferior al autonómico se elaborarán por las Comarcas y los Municipios que estén obligados a ello. Los planes especiales se elaborarán de conformidad con las directrices básicas aprobadas por el Gobierno de España o por el Gobierno de Aragón.

El PLATEAR distingue tres clases de riesgo que agrupan las distintas situaciones generadoras de emergencias. Se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2. Clases de riesgo y situaciones generadoras de emergencias correspondientes. (PLATEAR, 2014).

Riesgos cuya planificación corresponde a la Administración del Estado por estar siempre sujetos a interés nacional.	Emergencias nucleares, situaciones bélicas.
Riesgos sobre los que el Gobierno de Aragón ha de elaborar un Plan Especial sometido a la Directriz Básica correspondiente.	Inundaciones, incendios forestales, sismos, químicos, transportes de mercancías peligrosas, radiológicos.
Riesgos no sujetos a Directriz Básica, cuya elaboración de los correspondientes planes quedará sujeta a lo que determine el Gobierno de Aragón.	Fenómenos meteorológicos adversos, geológicos, transporte civil, concentraciones humanas, actividades deportivas, centros de pública concurrencia, fallo de suministros esenciales, incendios urbanos, colapso en edificaciones, sanitario, accidentes en gaseoductos y oleoductos, terrorismo y actos vandálicos.

Además, para cada riesgo, el PLATEAR realiza un resumen de los posibles escenarios desencadenantes, las consecuencias previsibles y las principales zonas de riesgo. El resumen referente a inundaciones se recoge en la Tabla 3.

Tabla 3. Riesgo por inundaciones: escenarios probables, consecuencias previsibles y zonas principales de riesgo en Aragón. (PLATEAR, 2014).

Escenarios más probables	Consecuencias previsibles	Zonas principales de riesgo
Avenidas por desbordamiento de cauces	<ul style="list-style-type: none"> - Alarma social. - Colapso o destrucción de vías de comunicación. - Politraumatismos graves, personas atrapadas o ahogadas. - Daños materiales graves. 	Las definidas en el Plan Especial, con especial atención al eje central del Ebro, curso medio y bajo del Cinca, valles del Jiloca-Jalón y cuenca del Arba.
Roturas u operación incorrecta de presas o infraestructuras hidráulicas	<ul style="list-style-type: none"> - Alarma social. - Colapso de vías de comunicación y servicios básicos. - Gran cantidad de víctimas. - Graves daños materiales. 	Núcleos de población situados aguas debajo de las respectivas presas.

Entrando en el funcionamiento del Plan, los órganos de dirección son el Centro de Coordinación Operativa (CECOP), que comparte sede con el Gobierno de Aragón, en Zaragoza; los Centros de Coordinación comarcales y municipales que se constituyan (CECOCAL y CECOPAL, respectivamente); y el Puesto de Mando Avanzado, que es el centro de referencia próximo al lugar de la emergencia, donde se coordinan las actuaciones en la zona de intervención. Este último es el encargado de solicitar la activación de medios y recursos, coordinar a los grupos de acción, proponer los cambios en el nivel de emergencia y valorar la situación y las consecuencias de cara a la rehabilitación, entre otras.

Además de estos, otros agente implicados en el PLATEAR son: el Director del Plan, el Director Técnico de la emergencia, el Comité Asesor, el Centro de Emergencias 112 SOS Aragón (pues cualquier activación de un Plan de Emergencias le debe ser comunicada), el Gabinete de Información, el Director de Operaciones, el Comité de Apoyo, los diferentes grupos de acción (rescate y salvamento, seguridad, grupo sanitario, grupo de acción social, grupo logístico) y voluntarios de protección civil.

La activación del plan ha de hacerse cuando la situación supere la capacidad de respuesta de los servicios habituales de emergencias, ya sea en la fase de alerta (cuando la información de los servicios de previsión y alerta prediga una evolución desfavorable generadora de una emergencia) o en la fase de emergencia (cuando las medidas son necesarias para hacer frente a una situación de riesgo ya producida).

Una vez activado, hay tres niveles de emergencia:

- Fase de emergencia Nivel 1: la situación generada o la evolución previsible pueden ser controladas con los medios y recursos asignados al PLATEAR.
- Fase de emergencia Nivel 2: se requieren medios no asignados al PLATEAR.
- Fase de emergencia Nivel 3: la situación generada o la evolución previsible afecta al interés nacional, precisándose una aportación de medios y recursos a nivel supra-autonómico o requiriéndose una dirección nacional de las Administraciones Públicas.

Por otro lado, cabe hablar de la integración del PLATEAR con otros planes de protección civil:

- Con los Planes Territoriales de ámbito inferior (comarcales y municipales).
 - La activación de un plan territorial en fase de alerta no supone ningún efecto en la activación de los planes inmediatamente superiores.
 - La activación de un plan territorial en fase de emergencia nivel 1 supondrá la activación en fase de alerta del plan territorial inmediatamente superior.
 - La activación de un plan territorial en fase de emergencia nivel 2 supondrá la activación en fase de emergencia nivel 1 del plan territorial inmediatamente superior, asumiendo este la dirección y coordinación de la emergencia.
 - En cualquier caso se podrá activar el PLATEAR cuando la gravedad de las circunstancias lo requieran, asumiendo el Director de este la dirección y coordinación integrales de la emergencia.
 - En cualquier caso, la activación de un plan de protección civil debe ser comunicada al Centro de Emergencias 112 SOS Aragón.
- Con los Planes Especiales de Protección Civil.

En el caso de activación simultánea de dos o más Planes Especiales se activará el PLATEAR y éste asumirá la dirección y coordinación de la emergencia.

- Con los Planes de Autoprotección.

Ante la activación de un plan de autoprotección, y cuando la gravedad de las circunstancias requiera la intervención de medios y recursos no asignados a este, se activará el Plan Territorial Municipal o Comarcal correspondiente.

En cuanto a las medidas a llevar a cabo, el PLATEAR considera tres tipos:

- Medidas de actuación: zonificación (zonas de intervención, de seguridad y libre), control de accesos (para facilitar la entrada y salida de los grupos de acción y proteger a las personas) y movilización de medios y recursos (siguiendo siempre los criterios operativos del PLATEAR).
- Medidas de protección: a la población (información, confinamiento, evacuación, salvamento, auxilio y asistencia sanitaria), a los grupos de acción (velar para que dispongan del asesoramiento en seguridad y de los equipos de protección necesarios), al medio ambiente y a los bienes de interés cultural (pudiendo convocar a representantes de los Departamentos competentes en estas áreas del Gobierno de Aragón).
- Medidas de reparación y rehabilitación de los servicios esenciales: suministro de agua potable, eléctrico, de gas y combustibles, infraestructuras viales o servicio de comunicaciones (si bien la rehabilitación definitiva será objeto de actuaciones posteriores de las instituciones que corresponda).

Por último, mencionar que el Plan Territorial de Protección Civil de Aragón, al hablar de planes territoriales, afirma que “cada comarca deberá elaborar un plan de protección civil comarcal, en el que se integrarán los respectivos planes municipales”. Además, “están obligados a elaborar un plan de protección civil municipal los municipios que cuenten con una población de derecho superior a los veinte mil habitantes, los municipios que sean calificados como turísticos de conformidad con la legislación de turismo, y los municipios considerados de especial peligrosidad en el mapa y el catálogo de riesgos de Aragón por razón de su situación geográfica o por la actividad industrial que se desarrolle en su término municipal”.

Este requerimiento se concreta en el apartado de inundaciones del Anexo VII del PLATEAR (Vulnerabilidad), en el que se listan los municipios que deben elaborar un Plan de Actuación Municipal, bien porque las inundaciones puedan afectar a sus núcleos urbanos, bien porque tras el análisis de las encuestas realizadas se han calificado como de afección media o grave.

1.4.4. ESTUDIOS REALIZADOS.

Desde finales del siglo XX, el riesgo de inundación se ha estudiado desde diferentes enfoques, que han sido revisados por algunos autores; (Thompson *et al.*, 2001; Arduino *et al.*, 2005; Begum *et al.*, 2007; Apel *et al.*, 2009; Okazawa *et al.*, 2011). El conocimiento generado ha sido aprovechado por diferentes investigadores e instituciones para la redacción de grandes obras que abarcan el riesgo de inundación en su totalidad; (Bryant, 1991; Wisner *et al.*, 2003; Ledoux, 2006; Díez-Herrero *et al.*, 2009; De Bruijn *et al.*, 2009; UK Environment Agency, 2009; Sayers *et al.*, 2013; Vinet, 2010; Ollero, 2014).

El creciente conocimiento sobre programas de modelización y de sistemas de información geográfica hace que la mayor parte de las investigaciones utilicen estas herramientas. Muchos trabajos de modelización combinan la matemática y la hidráulica aplicada al relieve: partiendo de datos hidro-meteorológicos, crean un modelo hidrológico para obtener las zonas inundables; (Anselmo *et al.*, 1996; Díez y Sanz, 1997; Bodoque *et al.*, 2003; Büchele *et al.*, 2006; Lastra *et al.*, 2008; Ruin *et al.*, 2009; Marchi *et al.*, 2010). Así mismo, varios autores resaltan en sus obras la estrecha relación entre la hidromorfología y el riesgo de inundación, sin llegar a trabajar en la creación de modelos; (Ballais *et al.*, 2005; Lelièvre *et al.*, 2008; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2009).

Por otro lado, numerosos artículos científicos sobre el riesgo de inundación se basan en cartografía elaborada mediante sistemas de información geográfica, generalmente para señalar las zonas urbanas inundables y analizar los posibles daños; (Ribas *et al.*, 1995; Díez-Herrero, 1999; Bechler-Carmaux *et al.*, 2000; Chave, 2002; Luino, 2003; Büchele *et al.*, 2006; Camarasa *et al.*, 2007; Soares-Frazão, 2007; Camarasa y Soriano, 2008; Lelièvre *et al.*, 2008; Merz *et al.*, 2010; Pérez-Morales, 2011; Morelli *et al.*, 2012; Martínez-Escribano, 2013; Pérez-Morales *et al.*, 2015; Serrano-Notivol *et al.*, 2015).

No sólo los autores que se centran en la cartografía urbana y de zonas inundables son los que abarcan el tema de usos de suelo. Otros lo hacen ampliamente, analizando también los usos agrarios y naturales y su relación con el riesgo de inundación; (Rosso y Rulli, 2002; Tollan, 2002; Hall *et al.*, 2005; Weather y Evans, 2009; Pattison, 2010; Karmakar *et al.*, 2010; Pattison y Lane, 2011).

Otro de los enfoques frecuentes es el análisis de la problemática del riesgo de inundación y la propuesta de medidas de mitigación; (Mateu, 1990; Ramsbottom y Packman, 2004; Givone, 2005; Saint-Michel, 2008; De Mora y Díez-Herrero, 2008; Merz *et al.*, 2010; Ollero, 2015).

Aunque minoritario, también la percepción social del riesgo es un tema recurrente, por tratar de prever la reacción de las personas expuestas ante un evento extraordinario; (Brázdil *et al.*, 2006; Ruin *et al.*, 2009; Lane *et al.*, 2011 y 2013; Eiser *et al.*, 2012).

Por último, cabe señalar algunos estudios que se aproximan al enfoque dado en este, es decir, el análisis del riesgo de inundación mediante índices. Muchos son los autores que analizan los factores de riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) e identifican variables; (Díez-Herrero, 1997 y 1999; Suárez, D. C., 2003; Van Manen y Brinkhuis, 2005; Bouma *et al.*, 2005; Aguirre, 2005; Décamps, 2007; Zonensein *et al.*, 2008; Evans, 2008; Saint-Michel, 2008; Balica y Wright, 2009 y 2010; Karmakar *et al.*, 2010; Okazawa *et al.*, 2011); aunque algunos de estos investigadores no llegan a ejecutar ese segundo paso; (Díez-Herrero, 1997; Décamps, 2007; Saint-Michel, 2008).

Entre los que identifican variables de exposición y vulnerabilidad, varios las integran en un índice que permite analizar el grado de riesgo de inundación (Van Manen y Brinkhuis, 2005; Bouma *et al.*, 2005; Aguirre, 2005; Zonensein *et al.*, 2008; Karmakar *et al.*, 2010; Okazawa *et al.*, 2011).

Como afirma Kamakar (2010), generalmente se entiende por riesgo el producto de la peligrosidad (aspectos físicos y estadísticos de las inundaciones) y la vulnerabilidad (la exposición de personas y asentamientos, y la susceptibilidad de elementos a sufrir daños). De hecho, es la definición dada por la Directiva 2007/60/CE, de gestión de los riesgos de inundación. Aunque todos los artículos supra-referidos se basan en este concepto de riesgo, presentan discrepancias a la hora de presentarlo y de plantear el índice de riesgo.

Para Van Manen y Brinkhuis (2005) el riesgo es el resultado de multiplicar la probabilidad y las consecuencias (daños materiales, víctimas mortales, daño cultural y medioambiental), es decir, $R = P_F * S$; donde (P_F) es la probabilidad y (S) son los daños causados por la inundación. El principal inconveniente es que está diseñado para analizar episodios ya acontecidos. Bouma *et al.* (2005) lo entienden igual, utilizando la expresión *Riesgo = Probabilidad * Efecto*.

Aguirre (2005) presenta otra valoración del riesgo, aunque similar en conceptos. Considera por un lado los riesgos potenciales, derivados de la presencia de determinados elementos o circunstancias desencadenantes de daños a bienes y personas, y por otro una corrección del riesgo potencial a la realidad, incorporando los factores de peligrosidad (N_1) y de vulnerabilidad (N_2). El cálculo del riesgo se lleva a cabo mediante la fórmula Índice de Riesgo Natural = $\sum(p_i * V_i) + N_1 * N_2$; donde: (p_i) es el peso del riesgo natural, (V_i) es el valor que presenta dicho riesgo, (N_1) es el valor de la peligrosidad y (N_2) es el valor de la vulnerabilidad, siguiendo los rangos establecidos (Tabla 4). Luego clasifica los riesgos según la escala de valoración escogida (Tabla 5).

Tabla 4. Rangos de valoración de los diferentes factores del índice de riesgo de inundación. (Aguirre, 2005).

Riesgo potencial			Factor probabilidad (Peligrosidad)		Daños producidos (Vulnerabilidad)	
Peso (p_i)	Ocurrencia	Valor (V_i)	Frecuencia	Valor (N_1)	Magnitud	Valor (N_2)
3	Avenidas de 50, 100 ó 500 años afectan a núcleos de población	5	1 vez en los últimos diez años	1,5	Muy importantes	1,5
	Avenida de 100 afecta a urbanizaciones o viviendas aisladas	3	1 vez en los últimos 50 años	1,25	Importantes	1,25
	Avenida de 500 afecta a viviendas aisladas	1	Menos o sin datos	1	Leves o muy escasos	1
	No afecta ninguna inundación	0	-	-	-	-

Tabla 5. Clasificación de los riesgos según su valoración. (Aguirre, 2005).

Valoración	Clase de riesgo
0-15	Bajo
16-31	Medio
32-47	Medio-alto
48-63	Alto
>63	Muy alto

Zonensein *et al.* (2008) plantean un índice más elaborado. Siguen la expresión $FRI = FP * C$, donde *FRI* significa *Flood Risk Index*, *FP* representa las propiedades de la inundación (*Flood Properties*), y *C*, las consecuencias. Tanto *FP* como *C* están compuestas de variables ponderadas y con rangos establecidos.

Las variables de propiedades de inundación son la profundidad del agua en la crecida, la duración (tiempo que las zonas permanecen inundadas) y la velocidad de inundación (como producto de la profundidad y de la velocidad de la corriente). Por otro lado, las variables consideradas para evaluar las consecuencias son la densidad de viviendas, la renta per cápita, el tipo de red de carreteras expuesto y la calidad del saneamiento.

Karmakar *et al.*, (2010) entienden que el riesgo de inundación es producto de la probabilidad de que tenga lugar el evento, la vulnerabilidad (como personas que pueden verse afectadas) y la exposición de usos de suelo y permeabilidad del suelo (pues estas características pueden agravar los efectos de la inundación). Así la fórmula que siguen es: $Flood Risk = pe * V * (E_{land-use} \text{ and } E_{soil-permeability})$.

Por último, Okazawa *et al.*, (2011) hacen una revisión de los trabajos realizados en análisis del riesgo de inundación y proponen su propio método, que entiende el riesgo como los daños que puede causar una inundación y es el resultado de multiplicar la peligrosidad y la vulnerabilidad. La peligrosidad se obtiene tras analizar diferentes datos hidro-meteorológicos e hidro-morfológicos; y la vulnerabilidad, a partir del análisis de variables seleccionadas de otros trabajos.

Concretamente, las variables son el número de personas expuestas, la tasa de incremento de población, la densidad poblacional, la renta per cápita, el número de teléfonos móviles por 1.000 habitantes, el número de ciudades, la cuantificación de daños, el porcentaje de superficie agrícola y de superficie forestal, y la capacidad de los embalses.

Hasta aquí se ha comprobado cómo existen diferentes métodos de valoración del riesgo hidrológico pero de carácter muy generalista. Además, todos ellos toman como punto de partida los datos de inundaciones pasadas y se centran en los daños económicos como medida de vulnerabilidad y exposición. Es por ello por lo que se ha visto necesaria la creación de una nueva metodología de valoración del riesgo por inundaciones, específica para este tipo de riesgos naturales, que utilice parámetros diversos de exposición y vulnerabilidad, incluyendo referencias a variables no consideradas hasta ahora y que son relevantes para el riesgo, como son la ordenación territorial, los sistemas de predicción y prevención, o la educación en el riesgo, entre otras.

1.5. ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se enmarca en las cuencas de los ríos Aragón y Gállego, las dos más noroccidentales de la Comunidad Autónoma de Aragón. Pertenecen a la cuenca del Ebro, siendo ambos ríos afluentes directos del Ebro por la margen izquierda.

Tras el Cinca, los ríos Aragón y Gállego son los dos más relevantes en cuanto a aportaciones al Ebro en Aragón, con 1.055,5 y 1.086,8 hm³/año, respectivamente (Sánchez *et al.*, 2004). De hecho, la aportación total del Aragón representa el 16% de las aportaciones que el Ebro recibe a lo largo de su cuenca (Del Valle *et al.*, 2007).

La cuenca del Aragón se sitúa en el extremo noroccidental de la provincia de Huesca, haciendo frontera con Navarra, por la que transcurre en sus tramos medio y bajo hasta desembocar en el Ebro.

En Aragón, esta cuenca coincide en líneas generales con la comarca de la Jacetania y abarca unos 2.200 km² (2.200 km² en Del Valle *et al.*, 2007; 2.191 km² en Sánchez *et al.*, 2004; y menos de 2.510 km² según el informe del río Aragón elaborado por la CHE para el Plan Hidrológico del Ebro 2010-2015). Su recorrido total alcanza 204,3 km, de los cuales unos 85 son en territorio aragonés (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), 2012).

Las sierras prepirenaicas de Santo Domingo, San Juan de la Peña y Oroel limitan la cuenca del Aragón por el sur y la separan de las del Gállego y del Arba (Del Valle *et al.*, 2007).

Por otra parte, la cuenca del Gállego se sitúa a oriente de la cuenca del Aragón. Realiza todo su recorrido por la Comunidad Autónoma de Aragón, naciendo en el Pirineo oscense y desembocando en el Ebro en Zaragoza.

Abarca poco más de 4.000 km² (4.009 km² en Sánchez *et al.*, 2004; 4.008,8 km² en del Valle *et al.*, 2007; y 4.020 km² en el informe del río Gállego elaborado por la CHE para el Plan Hidrológico del Ebro 2010-2015 y en Ollero *et al.*, 2004), con un recorrido N-S de unos 200 km (202,9 km según el CEDEX, 2012; 200 km en Ollero *et al.*, 2004). Ollero *et al.* (2004) afirman que hay diferentes datos publicados sobre su longitud (con una variación de -5 a +15 km), que explican por las variaciones de sinuosidad cuando es medido en campo y por las simplificaciones de escala cuando es medido cartográficamente.

1.5.1. EL RÍO ARAGÓN

El río Aragón nace en el valle de Astún, en plena cordillera pirenaica, concretamente en el ibón de Escalar. Enseguida toma un sentido norte-sur que mantiene hasta Jaca, donde su recorrido pasa a dirigirse de este a oeste hasta entrar en Navarra. Ahí toma dirección suroeste, hasta desembocar en el Ebro en Milagro.

Los afluentes más importantes de la margen derecha son el Aragón-Subordán (valle glaciar de Aguas Tuertas, Selva de Oza, Boca del Infierno), el Veral (valles de Linza y Zuriza, Foz de Biniés), el Lubierre (valle de Borau), el Estarrún (valle de Aísa), el Esca (cuyo recorrido transcurre mayormente por Navarra aunque desemboca en el embalse de Yesa en Aragón), el Irati (que vierte sus aguas al Aragón en Sangüesa, Navarra), el Cidacos (cerca de Caparroso, Navarra) y el Arga (que baña la ciudad de Pamplona).

Por la izquierda, cabe destacar los aportes del Onsella (que drena parte de las Altas Cinco Villas y se une al Aragón ya en Navarra), y el Regal (que desemboca en el embalse de Yesa).

Como describen Del Valle *et al.* (2007), su tramo alto se caracteriza por relieves abruptos de grandes cotas (Collarada 2.800 m), y por él fluye como torrente de montaña, alternando tramos tranquilos y ameandrados con tramos por los que circula rápido saltando resaltes rocosos.

Aquí el clima es muy húmedo, de inviernos fríos con nevadas importantes y veranos frescos. “La precipitación media supera los 2.000 mm en Candanchú y ronda los 1.700 mm en Canfranc-Estación” (Del Valle *et al.*, 2007). Dichas condiciones permiten el aprovechamiento de la zona como recurso turístico y deportivo: ahí están localizadas las pistas de esquí de Astún y Candanchú, que conllevan un impacto ambiental significativo acentuado en invierno. Además, estos aprovechamientos también influyen en los caracteres hidromorfológicos del río, llegando a presentar tramos en los que está entubado (Del Valle *et al.*, 2007).

En esta zona abundan los bosques de hayas (*Fagus sylvatica*), abetos (*Abies alba*) y pinos silvestres (*Pinus sylvestris*), que en altura son sustituidos por bosques de pinos negros (*Pinus uncinata*) y prados alpinos de diferentes composiciones.

Después de salir de este entorno, las aguas del Aragón entran en el término municipal de Canfranc, concretamente en el núcleo poblacional de Canfranc-Estación. Aquí el río se encuentra fuertemente canalizado e impermeabilizado, obra ejecutada en 1928, momento de construcción de la estación internacional de ferrocarril.

A la salida de este núcleo, el Aragón se encuentra con la primera central hidroeléctrica de su curso, la de Canal Roya, e inmediatamente aguas abajo, con la de Ip. Esta central, de carácter reversible y conectada al ibón que le da nombre, es la más importante de la cuenca del Aragón (Del Valle *et al.*, 2007).

Entre Canfranc y Jaca, el río experimenta diversas variaciones en su cauce. Al salir de Canfranc, el valle se abre ligeramente y disminuye su pendiente. Después entra en la garganta de Villanúa, donde pierde su ribera, para luego aparecer como curso trezado sobre una extensa superficie de sedimentos. Mientras, la pendiente continúa disminuyendo. Pasado Castiello, el Aragón vuelve a encajarse, y no se abre hasta llegar a las margas de Jaca (Del Valle *et al.*, 2007).

En este tramo, de Canfranc a Jaca, el río transcurre por otras tres centrales hidroeléctricas. En la de Villanúa “buena parte de su caudal es derivado a un canal de más de 12 km”, que une esta central con la de Jaca (situada aguas debajo de dicha ciudad) (Del Valle *et al.*, 2007). Jaca es la localidad más importante de la cuenca, con 12.147 habitantes según el padrón de 2014 (Instituto Aragonés de Estadística (IAEST), 2015). En esta ciudad, se une al Aragón el río Gas, por la margen izquierda.

Aquí, ya en la parte meridional de la cuenca en Aragón, el relieve es mucho más llano, formado por terrazas y glacis. El clima es más cálido y seco, con menor innivación pero aún importantes precipitaciones (800 mm en Jaca). El cauce es abierto y muy dinámico, alternando trezamientos con tramos de mayor sinuosidad, y el corredor de ribera es también muy amplio, por lo que existe una gran variedad de ambientes (Del Valle *et al.*, 2007). Predominan las encinas (*Quercus ilex*) y los quejigos (*Quercus faginea*), los cuales aparecen a menudo en umbría acompañados de pino silvestre (*Pinus sylvestris*). Por otro lado, en muchos casos se ha sustituido la vegetación natural de las riberas por plantaciones de chopos (*Populus nigra*).

El río Aragón termina su recorrido por la comunidad homónima represado en Yesa, embalse clave en el Sistema de Riegos de Bardenas. Desde ahí continúa su recorrido por tierras navarras hasta desembocar en el Ebro, en el término municipal de Milagro.

Por otra parte, García-Ruiz *et al.* (1985) estudiaron la composición litológica de la cuenca del río Aragón en territorio aragonés, determinándola en los siguientes porcentajes: *flysch* 40,85%, calizas 23,23%, margas 18,35%, arcillas 10,26%, areniscas 4,33%, pizarras 1,85% y conglomerado 1,06%.

Para terminar, entrando en la hidrología, Del Valle *et al.* (2007) afirman que la caudalosidad del río es relevante en todo su recorrido, con caudales relativos superiores a 13 l/km² en el tramo bajo y superiores a 27 l/km² en el tramo alto. Los afluentes que más cantidad de agua conducen al cauce principal son el Aragón-Subordán y el Esca (más de 350 hm³ anuales).

Las localidades de la cuenca del Aragón incluidas en este estudio son:

- Canfranc-Estación,
- Canfranc-Pueblo,
- Villanúa,
- Castiello de Jaca, y
- Jaca.

1.5.2. EL RÍO GÁLLEGO

El río Gállego nace en el puerto del Portalet y desemboca en el Ebro en Zaragoza, con recorrido en sentido N-S. Su cuenca se extiende, por tanto, desde el eje pirenaico hasta el centro de la depresión del Ebro. Esto hace que presente una gran variedad de ambientes y una dinámica activa y compleja.

Por la margen derecha, sus afluentes más importantes son el Escarra (entre los embalses de Lanuza y Búbal), el Aurín (que vierte sus aguas al Gállego en Sabiñánigo) y el Asabón (que desemboca en el embalse de La Peña).

Los afluentes por la margen izquierda son numerosos, y entre ellos destacan el Aguas Limpias (primer afluente, en Sallent de Gállego, naciente en el ibón de Respomuso), el Caldarés (que alimenta el ibón de los Baños, junto al Balneario de Panticosa, y es represado en Búbal), el Basa (en Sabiñánigo), el Guarga (que se une aguas arriba de Caldearenas), el Garona (inmediatamente antes del embalse de La Peña) y el Sotón (en Gurrea de Gállego).

A todos estos hay que incluir los barrancos de Arás y de Sía, ambos en Biescas, afluentes muy torrenciales de la margen derecha e izquierda, respectivamente.

Como describen Del Valle *et al.* (2007), su tramo alto se caracteriza por relieves abruptos de altas cotas (Balaitús 3.140 m). Hay varios desfiladeros y gargantas fluviales (Formigal-Sallent, Escarrilla, Santa Elena), en los que el río presenta un cauce encajado con sucesión de rápidos y depósitos de vertiente que conectan directamente con el río. El clima es frío y lluvioso, con abundantes precipitaciones en forma de nieve (Balneario de Panticosa en torno a los 1.700 mm; en Sallent de Gállego más de 1.300 mm).

Poco después de su nacimiento, el Gállego se topa con la estación de esquí de Formigal y su urbanización. Ahí se encuentra el primer embalse, el del Gállego, desde el que parte del caudal es derivado a la central hidroeléctrica de Sallent.

Sallent de Gállego es un municipio turístico situado en la cola de otro embalse, el de Lanuza, situado pocos kilómetros aguas abajo del primero (2,2 km) (Ollero *et al.*, 2004). Después el Gállego vuelve a ser represado en el embalse de Búbal. Entre estos dos embalses, el río fluye muy encajado y con caudal escaso, pues buena parte de él es entubado hasta la central hidroeléctrica de Lanuza, en la cola de Búbal. Y en Búbal sucede lo mismo, gran parte del caudal es derivado hasta las centrales “Biescas I” y “Biescas II”. Estos caudales son devueltos aguas abajo de Biescas, municipio también de importante desarrollo turístico (Del Valle *et al.*, 2007).

Aquí, al salir de las Sierras Interiores (sierras Telera y Tendeñera), el Gállego entra en su curso medio. El relieve es mucho más suave, de formas alomadas, según describen Del Valle *et al.* (2007). El clima se va haciendo más templado y menos húmedo, aumentando la influencia mediterránea, aunque la precipitación media anual sigue siendo considerable (800 mm en Sabiñánigo).

En la ribera de Biescas, tras un tramo estrechado, el Gállego desarrolla un cauce trezado típico de fin de valle glaciar, aunque este se ve cada vez más abandonado por la reducción de la dinámica propia del río, debida a la fuerte regulación de cuenca. Sin embargo, la vegetación ribereña se ha visto beneficiada por esto, pues ha ido colonizando los sedimentos que no se renuevan (Del Valle *et al.*, 2007).

Entre Biescas y Sabiñánigo no vuelve a haber represaciones, el tramo se mantiene naturalizado. De hecho, es considerado LIC (“LIC Río Gállego”) por sus sotos y formaciones riparias.

En Sabiñánigo se une el Aurín, afluente que constituye otro LIC por los mismos valores que el “LIC Río Gállego”. Con 8.837 habitantes según el padrón de 2014 (IAEST, 2015), Sabiñánigo es la ciudad más importante de la cuenca del Gállego, en la que se ha desarrollado una importante industrialización. Aquí el río adopta sentido NNE-SSO (Ollero *et al.*, 2004).

Inmediatamente aguas arriba de la localidad, el Gállego es represado en un pequeño embalse, el de Sabiñánigo. De él se vuelve a derivar agua a un canal que la conduce a la central hidroeléctrica “Sabiñánigo”, situada en la cola del embalse de Jabarella. Aguas debajo de esta central, encontramos las de Javierrelatre, Anzánigo e Hidro-Huesca (Del Valle *et al.*, 2007; Ollero *et al.*, 2004).

Los mismos autores indican que aquí el relieve vuelve a ser más montañoso, pues la cuenca abarca un sector de las Sierras Prepirenaicas exteriores. En este tramo, el Gállego recibe por la margen izquierda al Guarga, que también constituye un LIC, “La Guarguera”, en el que el hábitat destacado son los bosques de galería de sauce blanco o salguero (*Salix alba*) y chopo (*Populus alba*) (Del Valle *et al.*, 2007).

Después, el río adopta sentido E-O (Ollero *et al.*, 2004) y es otra vez represado en el embalse de La Peña, pero justo antes sufre una nueva desviación por un canal que lleva las aguas a la central de Carcavilla (entre el embalse de La Peña y los mallos de Riglos).

Aguas abajo del embalse de La Peña, el río retoma sentido norte-sur que ya no abandona hasta su desembocadura. Los mallos enmarcan la salida de su tramo prepirenaico encajado y su entrada en la depresión del Ebro, donde el relieve es mucho más suave. El Gállego entra entonces en su tramo bajo. Desde aquí, conforme desciende al sur, el clima se hace más árido, con lluvias escasas e irregulares. Estas condiciones, unidas a las diferencias estacionales de temperatura y al cierzo (viento frío, racheado y seco), favorecen las formaciones vegetales de tipo estepario y la presencia de especies arbóreas como sabinas (*Juniperus thurifera*) y pino carrasco (*Pinus halepensis*) (Del Valle *et al.*, 2007; Ollero *et al.*, 2004).

Hasta Ardisa no hay más represaciones, y el río presenta un estado de bastante naturalidad. Este tramo es el que presenta la mayor actividad en deportes de aguas bravas, como rafting o piragüismo.

En el embalse de Ardisa se vuelve a canalizar parte del caudal del Gállego hacia el embalse de la Sotonera, aunque a 1km del nacimiento de dicho canal parte de las aguas son turbinadas en la central de Valdespartera y devueltas al Gállego, como indican Del Valle *et al.* (2007). La Sotonera, que recoge las aguas del río Sotón, abastece al canal de Los Monegros, que junto al Canal del Cinca hacen posibles los “Riegos del Alto Aragón”.

El Gállego recibe al Sotón por la margen izquierda en Gurrea de Gállego. Antes, en Marracos, se encuentra otra central hidroeléctrica.

Aguas abajo de Gurrea, el Gállego abre su cauce, a la vez que aparecen importantes desviaciones de caudal destinadas a regadío. En San Mateo se encuentra con otra central hidroeléctrica y hasta su desembocadura en el Ebro, en Zaragoza, aparecen potentes concentraciones industriales y de servicios, algunas con vertidos muy contaminantes. También hay orillas afectadas por antiguas extracciones de áridos o acumulaciones de escombros, por lo que se puede afirmar que este tramo ha estado y está muy alterado (Del Valle *et al.*, 2007).

Pese a todo esto, el tramo entre Gurrea de Gállego y Montañana constituye el LIC “Bajo Gállego”, en el que destacan los hábitats relacionados con bosques y matorrales ribereños. Entre Gurrea y Ontinar pierde el encajamiento y desarrolla meandros libres; de Ontinar a Zuera presenta un cauce de transición trezado-meandriforme; y de Zuera a Peñaflor aumenta su sinuosidad, presentando una dinámica muy activa (meandros de San Mateo) (Ollero *et al.*, 2004).

En su estudio de 1985, García-Ruiz *et al.* determinaron la composición litológica de la cuenca del Gállego en dos tramos, hasta Búbal y hasta Santa Eulalia.

- Hasta Búbal: pizarras 58,16%, calizas 22,63%, granito 17,15%, areniscas 2,04%.
- Hasta Santa Eulalia: arcillas 23,35%, areniscas 21,90%, *flysch* 12,87%, calizas 11,39%, margas 11,04%, pizarras 9,18%, arcillas-areniscas 4,04%, conglomerado 3,50%, granito 2,70%.

En cuanto a hidrología, Del Valle *et al.* (2007) afirman que el comportamiento real está muy alejado de la dinámica natural que tendría si no existiesen todas las represaciones y desviaciones que hay en su cauce, ya sean para aprovechamiento hidroeléctrico como para regadíos.

Las localidades de la cuenca del Gállego incluidas en este estudio son:

- Biescas,
- Sabiñánigo, y
- Gurrea de Gállego.

2. METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo de este estudio se ha dividido en las ocho fases que se enumeran a continuación:

- Preselección de localidades.
- Datos de peligrosidad y exposición en el área de estudio.
- Elaboración del índice de riesgo de inundación.
- Elaboración de cartografía (actual y de 1956).
- Entrevistas a ayuntamientos.
- Observaciones de campo.
- Información obtenida sobre Protección Civil en el área de estudio.
- Procesamiento de datos.

En los siguientes apartados se desarrolla el método seguido en cada una de ellas.

2.1. PRESELECCIÓN DE LOCALIDADES.

Resulta indudable el interés de realizar el estudio completo, incluyendo todos los municipios ribereños desde nacimiento a desembocadura. Sin embargo, al tratarse de un Trabajo Fin de Grado, orientado a un esfuerzo de en torno a 300 horas, ha habido que restringir los términos municipales y localidades a tratar.

Así pues, en el caso del río Aragón el estudio se ha limitado a los cuatro municipios para los que la Confederación Hidrográfica del Ebro tenía elaborada cartografía de zonas inundables en el momento de realización del trabajo: Canfranc, Villanúa, Castiello de Jaca y Jaca. Concretamente, se han estudiado las capitales de estos municipios (localidades homónimas) y Canfranc-pueblo. De esta manera, de la totalidad de términos municipales del recorrido oscense del río Aragón, fueron descartados tan sólo Santa Cilia de Jaca y Puente La Reina de Jaca.

En cambio, el proceso de preselección en el Gállego fue más costoso. Se partía de más de treinta núcleos urbanos, pertenecientes a dieciocho términos municipales ribereños: Sallent de Gállego, Panticosa, Hoz de Jaca, Biescas, Sabiñánigo, Caldearenas, Las Peñas de Riglos, Murillo de Gállego, Santa Eulalia de Gállego, Biscarrués, Ardisa, Piedratajada, Puendeluna, Loscorrales, Lupiñén-Ortilla, Alcalá de Gurrea, Marracos y Gurrea de Gállego.

Se decidió entonces realizar un gran descarte y seleccionar aquellos municipios que pudieran representar las diferentes características de núcleos urbanos con riesgo potencial, tanto en el curso alto, como en el medio y el bajo. Así, los términos municipales ribereños del Gállego seleccionados para el estudio fueron: Biescas, Sabiñánigo y Gurrea de Gállego. Y concretamente, las localidades capitales de los mismos (homónimas).

2.2. DATOS DE PELIGROSIDAD Y EXPOSICIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Se consideró necesario, por un lado, realizar una búsqueda de datos de la hidrología de los ríos estudiados y de eventos de crecidas históricas, relacionando estos factores con la peligrosidad.

Para caudales y aportaciones, se trabajó con los datos aportados por García-Ruíz *et al.* en 1985 y en 2001, y con los datos del anuario de aforos 2011-2012 del CEDEX (2013). Concretamente, se buscaron datos de los aforos del Aragón en Jaca y del Gállego en Anzánigo pertenecientes a la serie 1949/1950-2011/2012, por ser la serie más larga disponible, aunque en algunos años no existen registros.

Las descripciones de los regímenes fluviales de ambos ríos fueron extraídas de Del Valle *et al.* (2007), así como algunas de las inundaciones históricas, que fueron complementadas con información del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas.

Por otro lado, la información de exposición se refiere aquí a las estadísticas locales y municipales de las localidades escogidas para este estudio, siendo el Instituto Aragonés de Estadística (IAEST) la fuente de datos. Concretamente, las variables estudiadas son: número de habitantes, evolución demográfica, edad media, número de personas mayores de 65 años y extranjeros, tasas de natalidad y mortalidad, superficie urbana, número de primeras y segundas viviendas, oferta turística y espacios naturales protegidos.

2.3. ELABORACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO DE INUNDACIÓN

El riesgo de inundación viene determinado por un índice en el que intervienen tres factores: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

Al no existir índices de riesgo consolidados científicamente, se ha tenido que trabajar en el diseño de uno propio para llevar a cabo este estudio. En algunos aspectos han servido de apoyo ideas y estudios no publicados del equipo de trabajo en el que me he integrado, aunque sí utilizados en trabajos académicos.

El primer factor, peligrosidad (P), se identifica con las zonas inundables cartografiadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Su elaboración corresponde al obligado cumplimiento de la segunda fase de la Directiva Inundaciones, para su incorporación al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Concretamente, hay cartografiados cuatro niveles de peligrosidad: muy baja (periodo de retorno (T) de 500 años), baja (T=100 años), alta (T=50 años) y muy alta (T=10 años). En el apartado 2.4. *Elaboración de la cartografía* se detalla más este asunto.

La exposición (E) y la vulnerabilidad (V) se evalúan a partir del análisis de diferentes variables, realizado con datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro, entrevistas con los ayuntamientos y diferentes agentes de Protección Civil, visitas de campo y datos censales de las localidades.

Las localidades presentan tantos índices de riesgo como niveles de peligrosidad haya cartografiados (ver apartado 2.4. *Elaboración de la cartografía*).

En cada uno de estos índices de riesgo locales, la vulnerabilidad permanece constante, pues sus variables no tienen componente espacial. En cambio, la exposición varía en función de la zona inundable que corresponda al nivel de peligrosidad: diferentes hectáreas expuestas que pueden hacer variar el número de personas y las infraestructuras expuestas y los usos de suelo presentes.

Con todo esto, se han podido calcular los índices de riesgo de inundación en las zonas estudiadas, tanto para la situación actual como para la de 1956 en el caso de Villanúa.

A continuación se detallan las variables de exposición y vulnerabilidad evaluadas y las correspondientes escalas de valores establecidas. Al no tener referencias de otros índices de riesgo aplicados, los rangos de las escalas han sido ajustados tras realizar las entrevistas y procesar los datos de todas las localidades estudiadas. Se ha intentado que sea un índice aplicable a cualquier área de estudio, salvo en el caso concreto de la población expuesta, que se ha dimensionado para zonas predominantemente rurales, no para grandes ciudades.

En primer lugar, para la exposición se han evaluado las siguientes variables:

- El número de personas expuestas (PEX), en base al padrón municipal del año 2014 por localidades (estadística local del Instituto Aragonés de Estadística, 2015) y según la superficie urbana en la zona inundable de cada nivel de peligrosidad, siguiendo la relación:

$$PEX = \frac{N^{\circ} \text{ total habitantes localidad} \cdot \text{ha superficie urbana inundables}}{\text{ha superficie urbana total localidad}}$$

Tabla 6. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PEX. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

- La relación entre cercanía del núcleo poblacional al río y diferencia de altura (CAC). Esta ha sido calculada siguiendo la ecuación $CAC = \sqrt{\frac{h/d}{h}}$, donde h es la diferencia de altura y d la distancia del núcleo urbano al cauce (fórmula de Sergio Domenech y Alfredo Ollero). CAC no varía entre niveles de peligrosidad, pues siempre se trata del punto más próximo al cauce.

Tabla 7. Rangos establecidos para la evaluación de la variable CAC. *(Elaboración propia)*.

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1

- La relación entre usos compatibles e incompatibles (USO). A partir de la cartografía municipal de usos de suelo en zonas inundables elaborada (apartado 2.4. *Elaboración de cartografía*), se ha utilizado la ecuación $USO = \frac{\text{ha de usos incompatibles en la zona inundable}}{\text{ha totales en la zona inundable}} \cdot 100$. Se entiende como usos incompatibles el suelo urbano, industrial o comercial, y las instalaciones deportivas y recreativas. USO sí varía entre niveles de peligrosidad, dependiendo de la superficie inundable.

Tabla 8. Rangos establecidos para la evaluación de la variable USO. *(Elaboración propia)*.

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

- Las infraestructuras lineales expuestas (INF). Se ha valorado mediante conteo de tipologías presentes (redes viarias, suministros de agua y luz, redes de saneamiento y oleoductos o gaseoductos). En caso de no haber ningún tipo expuesto, se elimina la variable.

Tabla 9. Rangos establecidos para la evaluación de la variable INF. *(Elaboración propia)*.

INF	5 tipos expuestos	5
	4 tipos expuestos	4
	3 tipos expuestos	3
	2 tipos expuestos	2
	1 tipo expuesto	1

En cuanto a la vulnerabilidad, las variables a estudiar han sido:

- Los medios de control y evacuación existentes (MCE). En un primer momento se pretendía valorar si eran suficientes y conocidos en los consistorios, siguiendo los rangos de la Tabla 10.

Tabla 10. Rangos establecidos para la evaluación de la variable MCE. *(Elaboración propia)*.

MCE	No existen	5
	No se conocen y no son suficientes	4
	Se conocen pero no son suficientes	3
	No se conocen pero son suficientes	2
	Se conocen y son suficientes	1

Pero conforme avanzaba el trabajo, se vio que ningún alcalde conocía en profundidad el tema y que el PLATEAR otorga una cobertura homogénea de medios a los municipios aragoneses en caso de emergencia: si bien cada comarca y algunos municipios cuentan con medios humanos y materiales propios (Anexo I de este trabajo), en caso de necesidad se movilizaría todo lo posible desde el Gobierno de Aragón, e incluso desde otras Comunidades Autónomas. Por esto, se ha decidido otorgar a todas las localidades el mismo valor.

- Las obras de protección y defensa (PRO). Se evalúa cualitativamente la presencia de estas obras, bien sean de protección frente a la erosión en las orillas (escolleras, canalizaciones y muros) o de protección frente a la inundación (diques o motas), analizando su estado de conservación. En este punto es importante el apoyo de fotografías realizadas en las visitas de campo. En caso de no haber presencia de ellas ni necesidad, se elimina la variable.

En este trabajo no se va a entrar a valorarlas, pues las últimas crecidas, en el año 2012, demostraron que son sistemas insuficientes. Igualmente, se incluyen aquí los aspectos que podrían ser evaluados y los rangos de vulnerabilidad correspondientes.

Tabla 11. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PRO. *(Elaboración propia).*

PRO	No existen obras de protección y defensa siendo necesario		5
	Sí existen obras de protección y defensa	Hay obras de los dos tipos de protección pero en mal estado	5
		Hay obras de un solo tipo y en mal estado	4
		Hay obras de un solo tipo pero en buen estado	3
		Hay obras de los dos tipos pero uno en mal estado	2
		Hay obras de los dos tipos y ambos en buen estado	1

- La regulación de cuenca aguas arriba (REG), expresada como el porcentaje de superficie de cuenca regulada aguas arriba de cada localidad estudiada sobre el total de la cuenca vertiente hasta ahí. Se entiende como superficie de cuenca regulada la que regule el primer embalse de volumen superior a 0,5 hm³ aguas arriba de la localidad. El dato es tomado de las fichas técnicas de las presas de los embalses en el visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. La superficie de cuenca no regulada es medida mediante visor SigPac, y se entiende como la superficie cuenca inmediatamente aguas arriba del municipio antes del primer embalse, si lo hubiese.

Tabla 12. Rangos establecidos para la evaluación de la variable REG. *(Elaboración propia)*.

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

- Actuaciones antrópicas aguas arriba con posibles efectos negativos (EFN). Se refiere a la presencia de obras de protección hasta 10 km aguas arriba, que aguas abajo pueden suponer un problema. Concretamente se lleva a cabo un conteo de tipologías presentes, apoyado en fotografías, de impermeabilizaciones de cauce, impermeabilizaciones de cuenca, canalizaciones y estrechamientos de cauce, posibilidad de rotura de presas, y sobreelevación de diques y motas. Las presas son un caso especial, pues, independientemente de la distancia, siempre pueden generar efectos negativos aguas abajo. En caso de no haber ningún tipo expuesto, se elimina la variable.

Esta variable no va a ser valorada en este trabajo, por la controversia que suscitan los citados elementos y por la dificultad en determinar el grado de respuesta de los mismos ante eventos extremos.

Como se ha hecho en PRO, se indican aquí los rangos de vulnerabilidad que deberían ser aplicados al valorar la variable (Tabla 13).

Tabla 13. Rangos establecidos para la evaluación de la variable EFN. *(Elaboración propia)*.

EFN	5 tipos presentes	5
	4 tipos presentes	4
	3 tipos presentes	3
	2 tipos presentes	2
	1 tipo presente	1

- El tiempo de reacción estimado ante un evento extraordinario (TDR). Es calculado mediante la fórmula de Kirpich (1940) para la obtención del tiempo de concentración de caudales. Este representa el tiempo máximo de circulación del agua de escorrentía superficial desde que finalizan las entradas de precipitación neta en la cuenca hasta que concluye la escorrentía debida a ella en el punto de salida de la cuenca o bien hasta el punto que nos interese en el estudio.

Dicha fórmula es $T_c = 0,01947 * \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$, donde Tc es el tiempo de concentración, en minutos, que se corresponde con el tiempo de reacción, L es la longitud en metros del cauce principal desde el nacimiento de la corriente hasta el punto de estudio, y S es la pendiente H/L, en metros, siendo H la diferencia de altitud entre la cota máxima (nacimiento) y la mínima (punto de estudio) de la cuenca.

Aunque no hay consenso científico en cuanto al punto de inicio de un curso fluvial a aplicar en dicha fórmula, en este estudio se ha tomado como tal el nacimiento del Aragón y del Gállego en los ibones de Escalar y Espelunciecha, respectivamente, pues se considera que es ahí donde puede empezar a producirse escorrentía. Todas las mediciones para incorporar a la fórmula han sido calculadas mediante Google Earth.

La evaluación de esta variable se lleva a cabo siguiendo los rangos que se exponen en la Tabla 14.

Tabla 14. Rangos establecidos para la evaluación de la variable TDR. *(Elaboración propia).*

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

- Los sistemas de predicción disponibles (PRD). Se ha evaluado por la existencia o no de aforos y/o estaciones meteorológicas aguas arriba y la distancia del más cercano a la localidad a estudiar, siguiendo los rangos establecidos (Tabla 15).

Tabla 15. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PRD. *(Elaboración propia)*.

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

- Los sistemas de prevención disponibles (PRV), valorando si existen tanto planes de actuación como informes hidrológicos y si son conocidos en los municipios.

Tabla 16. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PRV. *(Elaboración propia)*.

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce, o existen los dos y se conoce uno	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

- Las actividades de educación en el riesgo realizadas (EDU), analizando su frecuencia o las razones para no llevarse a cabo si es el caso.

Tabla 17. Rangos establecidos para la evaluación de la variable EDU. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

- El planeamiento urbano del núcleo poblacional (PLU), según si existe, si contempla los riesgos naturales y en concreto el de inundación, y si incluye cartografía de zonas inundables o no.

Tabla 18. Rangos establecidos para la evaluación de la variable PLU. *(Elaboración propia)*.

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

2.4. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA

La cartografía necesaria para este trabajo es la referente a zonas inundables en el área de estudio y la que presenta los diferentes usos de suelo en esas zonas. Esto, tanto para la situación actual como para la de 1956 en el caso de Villanúa.

2.4.1. CARTOGRAFÍA DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Las zonas inundables en el área de estudio han sido facilitadas directamente por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Debido al necesario cumplimiento de la Directiva 2007/60/CE y del Real Decreto 903/2010, el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino desarrolló el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), un sistema informático que almacena el conjunto de estudios de inundabilidad realizados por dicho ministerio y sus organismos de cuenca. Para ayudar en su desarrollo, el propio Ministerio publicó una guía metodológica (Sánchez-Martínez y Lastra, 2011). En ella se dan recomendaciones sobre cartografía, datos de partida, estudios hidrológicos e hidráulicos, análisis históricos y geomorfológicos; y, con todo ello, indica cómo llevar a cabo la delimitación del dominio público hidráulico probable y de la zona de flujo preferente, y la zonificación de la inundabilidad.

Así, la Confederación Hidrográfica del Ebro es poseedora de la cartografía de zonas inundables de los ríos incluidos en este estudio, con el único “pero” de no estar aún completa. Esta cartografía presenta cuatro niveles de peligrosidad según periodo de retorno: 10, 50, 100 y 500 años, que en este trabajo se han convertido, correspondientemente, a peligrosidad muy alta, alta, baja y muy baja. Ese “pero” afecta aquí de dos maneras diferentes. En el caso del río Gállego hay tramos sin cartografía para una peligrosidad muy alta (periodo de retorno de 10 años); y en el caso del río Aragón, para el que sí aparecen los cuatro niveles, sólo se encuentran cartografiados los tramos que afectan a los núcleos poblacionales de Canfranc a Jaca. Sin embargo, esto no ha sido considerado como limitante para llevar a cabo el estudio, aunque sí para seleccionar las localidades a abarcar.

A partir de los archivos de zonas inundables facilitados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, un *Web Map Service* de ortofoto e imagen satélite de Aragón del año 2012 obtenida del portal web IDEARAGON, y los *shapefiles* de usos de suelo de *Corine Land Cover 2006 España* (descargada del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (Instituto Geográfico Nacional)), se ha elaborado una serie cartográfica relativa a los usos de suelo en las zonas inundables que competen a este estudio mediante el uso del *software* ArcGis, concretamente la versión 10.1.

Para obtener los usos de suelo de cada término municipal, se ha utilizado el comando *Clip* a partir de los *shapefiles* de *Corine Land Cover 2006 España* y de términos

municipales de Aragón (extraídos de IDEARAGON), seleccionando primero el término municipal a estudiar.

Con esto y los *shapefiles* de zonas inundables facilitados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se han representado los usos de suelo en dichas zonas. Para ello, se ha aplicado de nuevo el comando *Clip* entre cada *shapefile* de término municipal con usos de suelo y cada uno de los *shapefiles* de zonas inundables según el nivel de peligrosidad. Así, se han obtenido cuatro *shapefiles* finales de usos de suelo en zona inundable por municipio, uno por cada nivel de peligrosidad.

Finalmente, se han elaborado los mapas finales de usos de suelo en zonas inundables de cada municipio, incluyendo en la leyenda los diferentes tipos de uso y las hectáreas que abarcan. Las descripciones de los códigos de usos de suelo de *Corine Land Cover* se han respetado, y los colores seleccionados para cada categoría de uso de suelo se han mantenido en todos los mapas. El sistema de coordenadas utilizado ha sido el *Universal Transverse Mercator*, y el datum de referencia, el *ETRS89*, zona 30N.

Por otro lado, cabe destacar que durante la elaboración de la cartografía se ha encontrado un tipo de situación que ha requerido una mayor dedicación.

En muchos casos *Corine Land Cover* no identificaba el suelo urbano, especialmente en áreas residenciales de reciente construcción. Los núcleos poblacionales aparecían incluidos en el polígono más cercano, normalmente “mosaico de cultivos” o “zonas de seco”. Esto ha obligado a llevar a cabo la digitalización manual del suelo urbano, entendido como la superficie abarcada por el tejido urbano, ya sea continuo o discontinuo. Se aprovecha entonces para diferenciar también las “instalaciones deportivas y recreativas”, categoría propia de *Corine Land Cover* que generalmente tampoco aparece reconocida, y retocar otros límites.

Para esto, primero se crea un nuevo *shapefile* de polígono para el tejido urbano. Se digitaliza manualmente y se calcula el área que abarca. Después se procede a ejecutar el comando *Erase*, para eliminar estos polígonos del *shapefile* de usos de suelo municipal y se recalcula el área de cada uno de los polígonos ya existentes, pues aquellos que incluían el núcleo poblacional anteriormente debían ver su área reducida. Otra opción, en vez de ejecutar *Erase*, es modificar los límites de los polígonos adyacentes antes de digitalizar el urbano.

2.4.2. CARTOGRAFÍA DEL AÑO 1956

Partiendo de la base de que no existen metadatos relativos a ortofotos ni imágenes satélite de esta fecha, este proceso de elaboración cartográfica resultó algo más costoso que el anterior.

La fotografía aérea del vuelo americano de 1956 de la zona del núcleo urbano de Villanúa fue, en primer lugar, descargada en formato *pdf* del visor web de la fototeca del Centro Nacional de Información Geográfica. Después, con un programa de edición fotográfica se recortó el área de la fotografía y se incorporó a ArcGis, donde se procedió a georreferenciarla a partir de las coordenadas de los puntos de control seleccionados en el visor.

Los usos de suelo fueron digitalizados manualmente, creando un nuevo *shapefile* de polígonos para cada categoría de uso. Se siguió la variedad de categorías de *Corine Land Cover*, para aproximar al máximo posible los tipos de uso de 1956 con los actuales. Por otro lado, para las zonas inundables se utilizaron los *shapefiles* actuales cedidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

El proceso restante es idéntico al realizado con la cartografía actual: comando *Clip* para solapar usos de suelo y zonas inundables de cada nivel de peligrosidad y maquetación para extraer los mapas.

2.5. ENTREVISTAS A LOS AYUNTAMIENTOS

Para conocer el grado de exposición y vulnerabilidad se ha considerado necesario trabajar con los ayuntamientos. Por ejemplo, la mera existencia de planes de actuación e informes hidrológicos no siempre implica que sean conocidos en los consistorios y, por tanto, aún menos entre el grueso de la población. Además, es desde ahí donde se gestionan las actividades de educación en el riesgo, si las hubiere, y el planeamiento urbano.

Así, las variables de exposición a tratar en estas entrevistas fueron:

- la relación entre cercanía del núcleo poblacional al río y diferencia de altura, y
- las infraestructuras lineales expuestas,

según el parecer del entrevistado en caso de no haber documentación relativa a ello.

Y en cuanto a la vulnerabilidad:

- los medios de control y evacuación existentes,
- el tiempo de reacción estimado ante un evento extraordinario,
- las obras de defensa,
- la regulación de cuenca y actuaciones antrópicas aguas arriba,
- los sistemas de predicción y prevención disponibles,
- las actividades de educación en el riesgo realizadas, y
- el planeamiento urbano del núcleo poblacional.

Como planificación de las entrevistas se elaboró una ficha con el guión a seguir, por variables, que se adjunta en el Anexo II.

2.6. OBSERVACIONES DE CAMPO

De forma complementaria, ha sido necesario realizar observaciones de campo propias para corroborar la información obtenida de los ayuntamientos y ampliarla en caso de ser necesario.

Las variables de exposición sujetas a esta evaluación *in situ* han sido las mismas que las tratadas en las entrevistas a los ayuntamientos, es decir, la relación entre cercanía del núcleo poblacional al río y diferencia de altura, y las infraestructuras lineales expuestas.

Como variables de vulnerabilidad, se han evaluado las obras de defensa, las actuaciones antrópicas con posibles efectos negativos y la presencia de sistemas de predicción.

En todas las observaciones de campo han participado tres o cuatro observadores. Se han realizado fotografías para poder justificar las evaluaciones, sobre todo en cuanto al estado de las obras de defensa y a las actuaciones antrópicas con posibles efectos negativos.

La cercanía del núcleo poblacional al río y la altura respecto a él se ha cuantificado con técnicas topográficas después de hacer una aproximación visual. En los casos en que la altura no se pudo determinar con técnica topográfica, se hizo una media de las aproximaciones visuales de los observadores (entre dos y cuatro, según la visita); mientras que la distancia se corroboró con el visor SigPac.

También para las observaciones de campo se elaboró previamente una ficha con el guión de las variables a evaluar *in situ*, adjunta en el Anexo III.

2.7. INFORMACIÓN OBTENIDA SOBRE PROTECCIÓN CIVIL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Otra parte importante del estudio fueron las entrevistas con diferentes agentes de protección civil.

En primer lugar, se registraron en las tres sedes comarcales (Hoya de Huesca, Jacetania y Alto Gállego) solicitudes de información relativa a planes de actuación ante riesgo de inundación (a nivel comarcal y/o municipal) y a recursos humanos y materiales disponibles.

En La Hoya de Huesca, la información vino de parte de D. Roberto Cebollero, técnico responsable del Área de Medio Ambiente y Protección Civil. Accedió a mantener una entrevista en la que definir la información necesaria, limitándola al municipio de Gurrea de Gállego, único término municipal incluido en este estudio. Tras dicha entrevista, facilitó el plan de actuación municipal, pendiente de aprobación y publicación en ese momento. En él se describen las características del municipio y las infraestructuras relevantes, se identifican y analizan los riesgos del municipio y se detallan la estructura de protección civil municipal y los servicios, medios y recursos municipales.

La Comarca del Alto Gállego resolvió enviar mi solicitud al servicio de bomberos por entender que serían ellos los más adecuados para abordar el tema. Estos me remitieron finalmente a D. Emilio Leo, Jefe del Área de Protección Civil de la Subdelegación del Gobierno en Huesca. Él fue el encargado de la puesta al día en cuanto a legislación y roles de los diferentes agentes implicados en la Protección Civil, facilitando numerosos documentos que pudiesen nutrir este estudio.

Por último, hasta el momento de finalización de este estudio no se obtuvo respuesta alguna de la Comarca de La Jacetania.

2.8. PROCESAMIENTO DE DATOS

2.8.1. A PARTIR DE LAS ENTREVISTAS A AYUNTAMIENTOS Y DE LAS OBSERVACIONES DE CAMPO

Tras terminar cada visita de estudio, se pasaba la información obtenida a soporte informático, se analizaba y contrastaba.

La herramienta más utilizada para corroborar las informaciones obtenidas en las visitas ha sido el visor SigPac.

En primer lugar, se ha utilizado para representar sobre ortofoto los diferentes puntos de observación de cada localidad, por orden de enumeración en las fichas de campo. Después, se han realizado medidas de proximidad del núcleo urbano al cauce, para corroborar la información de los alcaldes y la medida u observada durante la visita de campo. Por un lado, en los puntos que desde los consistorios se consideraban los más cercanos; por otro, en los puntos de observación durante la visita de campo; y finalmente, aquellos puntos cercanos que no se han considerado como tal por los consistorios ni en las visitas de campo, pero que durante la utilización del visor han parecido relevantes por mostrar pequeñas distancias al cauce. La menor de estas distancias medidas en el visor para cada localidad es la que ha sido utilizada para el cálculo de la variable CAC.

Además, con el visor SigPac se ha contrastado, en la medida de lo posible, la información recibida y observada sobre infraestructuras lineales expuestas (INF), obras de protección y defensa (PRO), actuaciones antrópicas aguas arriba con posibles efectos negativos (EFN), y aforos y estaciones meteorológicas (PRD).

Por otra parte, se ha corroborado la información recibida en los ayuntamientos sobre planeamiento urbano (PLU), consultando aquellos Planes Generales de Ordenación Urbana disponibles en las correspondientes webs de los consistorios (Canfranc, Villanúa, Jaca, Biescas y Sabiñánigo).

No ha sido necesario contrastar el resto de variables, bien por ser independientes de las visitas (caso de PEX, USO, REG y TDR), bien por estar preparadas de antemano y sólo necesitar saber el conocimiento o desconocimiento en los consistorios (MCE y PRV), o bien por considerar que los ayuntamientos son los conocedores de primera mano de la realidad (caso de la variable EDU).

Una vez puesta toda la información de cada variable en orden para cada localidad, se han consultado las tablas de rangos de las diferentes variables elaboradas para dar un valor. En el Anexo IV se recogen los valores finales otorgados a cada una de ellas.

2.8.2. A PARTIR DE ARCGIS

La preparación en ArcGis de los diferentes *shapefiles* de usos de suelo para la elaboración cartográfica ha permitido también la extracción de datos para calcular las variables PEX y USO. Para cada una de estas variables se ha elaborado un Excel en el que anotar los diferentes datos de las localidades según nivel de peligrosidad y ejecutar las operaciones de cálculo final (Anexos V y VI, respectivamente). Esos datos provienen de las tablas de atributos de los correspondientes *shapefiles*.

En cuanto a PEX, por un lado se ha anotado la superficie urbana total de la localidad, obtenida del *shapefile* de usos de suelo de la localidad, y por otro, la superficie urbana en la zona inundable correspondiente a cada nivel de peligrosidad. Con ello y los habitantes del padrón local, se efectuaba una simple regla de tres para calcular los habitantes presentes en esa zona urbana inundable: “Si en A ha hay B habitantes, en C ha habrá D habitantes”, siendo A la superficie urbana total de la localidad, B el número de habitantes según el padrón local, C la superficie urbana en zona inundable y D el valor que queremos hallar, es decir, los habitantes en esa zona inundable.

Cabe destacar que si bien es un buen método de aproximación, también no es exacto, pues la zona urbana abarca parques y jardines y, en ocasiones, zonas deportivas no diferenciadas. Estas zonas suman hectáreas no residenciales que, en el método, sí se están interpretando como tales.

Por otra parte, la preparación de la cartografía ha permitido también calcular la variable USO. A partir de las tablas de atributos de las diferentes zonas inundables según nivel de peligrosidad, se anotaban las hectáreas totales de la zona de inundación y las hectáreas de usos incompatibles dentro de ella (superficie urbana, deportiva e industrial). Después se ejecutaba el cálculo, que consiste en el porcentaje de hectáreas de usos incompatibles respecto al total de hectáreas de la zona inundable.

3. RESULTADOS

En primer lugar se exponen los resultados del estudio de peligrosidad y exposición, referido a la hidrología y crecidas históricas del Aragón y del Gállego, y a las características de los municipios elegidos para el estudio.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación del riesgo de cada localidad. Primero se efectúa una introducción con información de las visitas a la localidad. Entrando en el análisis, se comienza por presentar las variables de exposición correspondientes a cada nivel de peligrosidad; después, las variables de vulnerabilidad, independientes de la peligrosidad. Para terminar, se efectúa el cálculo de los índices de riesgo.

En Villanúa, única localidad para la que se va a estudiar el riesgo de inundación en 1956, primero se presentan y discuten los resultados actuales y después se incorpora el análisis de la situación anterior.

Cabe destacar que, pese a depender de la peligrosidad, no siempre las variables de exposición de las localidades estudiadas cambian de rango según el nivel de peligrosidad analizado, pues la zona inundable no varía lo suficiente como para provocar diferencias tan significativas que lleven al cambio de rango. Esto puede deberse al hecho de que se trata de valles estrechos; por lo que cuando se estudien llanuras de inundación amplias, los rangos de las variables variarán más entre niveles de peligrosidad.

Por otra parte, recordar que la variable de vulnerabilidad MCE (medios de control y evacuación) presenta el mismo valor en todas las localidades estudiadas; y PRO y EFN no van a ser valoradas, aunque sí comentadas.

3.1. FACTORES DEL RIESGO: PELIGROSIDAD Y EXPOSICIÓN.

Los resultados que aquí se presentan son independientes de la elaboración del índice y no influyen en él. Los aspectos hidrológicos de ambos ríos (peligrosidad) y las características de cada localidad y sus poblaciones (exposición) se consideran relevantes para entender dichos factores de riesgo más allá de lo que puedan mostrar las variables escogidas para elaborar el índice.

Por esto, la vulnerabilidad no es tratada en este apartado, pero sí en el índice de riesgo.

3.1.1. PELIGROSIDAD: HIDROLOGÍA Y CRECIDAS.

- Río Aragón.

Analizando los datos del aforo del río Aragón en Jaca, en una serie temporal que abarca desde 1949/1950 hasta 2011/2012, se ha obtenido un caudal anual medio de $6,37 \text{ m}^3/\text{s}$ y una aportación anual media de $198,84 \text{ hm}^3$. Con esta serie de datos se ha elaborado un gráfico de evolución del caudal y de las aportaciones (Figura 1).

Los datos obtenidos difieren de los presentados por García-Ruíz *et al.* en sus publicaciones de 1985 y 2001, a excepción del caudal medio, que sí se aproxima al que ellos dieron en 2001 (ver Tabla 19). Las discrepancias se deben a las series temporales tomadas para cada uno de los estudios, pues en la publicación de 1985 se trabajó con la serie 1947/1948-1973/1974 y en la publicación de 2001 con el periodo entre 1964 y 1994. En el Anexo VII se recoge la lista con todos los valores analizados en este trabajo.

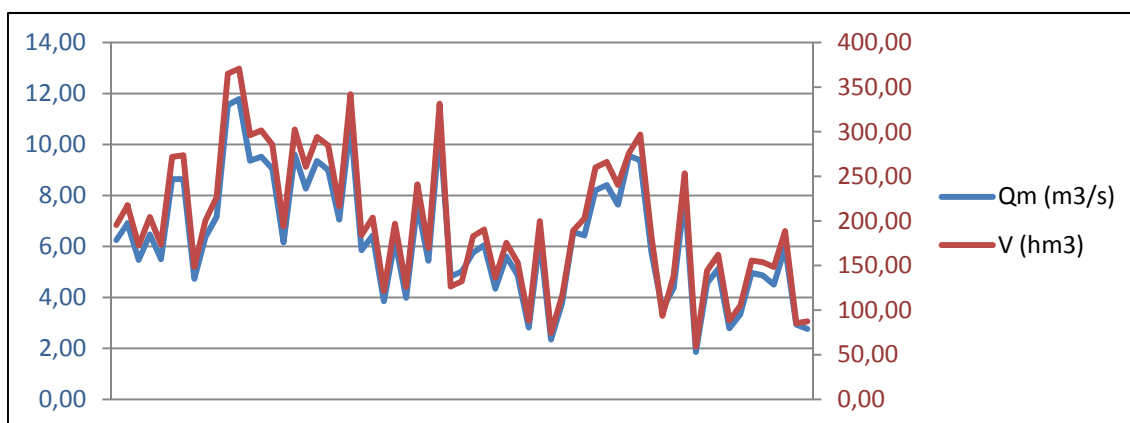


Figura 1. Evolución del caudal anual medio y la aportación anual media del río Aragón a su paso por Jaca. 1949-2012. (*Elaboración propia*).

Tabla 19. Diferentes datos de caudal y aportación anuales medios en el aforo del río Aragón en Jaca (García-Ruíz *et al.*, 1985; García-Ruíz *et al.*, 2001; cálculos propios). (*Elaboración propia*).

	Dato extraído de García-Ruíz <i>et al.</i> , 1985	Dato extraído de García-Ruíz <i>et al.</i> , 2001	Dato obtenido de cálculos propios
Q (m^3/s)	8,26	6,4	6,37
V (hm^3)	260,74	201	198,84

En cuanto al régimen fluvial, Del Valle *et al.* (2007) estudiaron que existen marcadas diferencias entre los tramos alto y bajo del Aragón, así como en sus afluentes. En las estaciones más próximas a la cabecera (Canfranc y Jaca), el máximo se da en mayo (fusión nival + lluvias primaverales) y el mínimo en verano (escasez de precipitaciones + aumento de la evapotranspiración). En Caparroso (Navarra), el máximo aparece en febrero (influencia atlántica de los afluentes más occidentales), mientras que se mantiene el mínimo estival. Esto hace que se pueda caracterizar su régimen como nivo-pluvial en el tramo alto, que pasa gradualmente a uno pluvial oceánico en su tramo bajo.

Por último, destacan que el tramo alto del río Aragón y sus afluentes presentan un mayor número de días con caudales considerados de crecida que el resto de ríos de cuencas pirenaicas. Concretamente, el máximo de días que superan el umbral de crecida se da en Canfranc, con más de 25 días, y el mínimo, en la cola del embalse de Yesa, con casi 20 (Del Valle *et al.*, 2007).

En ese mismo libro se hace referencia a algunas crecidas históricas recientes, detallándose los caudales máximos instantáneos:

- enero-febrero de 1978. Pico de crecida en Caparroso el 2 de febrero que alcanzó un caudal máximo instantáneo de 1.364 m³/s.
- junio de 1979. Pico de crecida en Caparroso el 2 de junio, con un caudal máximo instantáneo de 2.127 m³/s.
- octubre-noviembre de 1966. Máxima instantánea el 9 de noviembre con 2.320 m³/s en Caparroso y 186,8 m³/s en el Aragón-Subordán; y 115 m³/s en el Veral el día 8.

A estas se deben añadir otras obtenidas tras el análisis de la información recopilada en el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (versión de 2010). La información detallada de cada inundación se encuentra en el Anexo VIII de este estudio.

La primera referencia a inundaciones del río Aragón aparece en el año 1330, en Sangüesa. Le sigue una de 1430, que en la misma localidad destruyó 172 casas y causó víctimas mortales. En el siglo XVI se registraron hasta siete inundaciones con numerosos daños, tres en el Aragón (1527, 1553 y 1582) y cuatro en el Gas (1510, 1516 y 1553 (dos)); en el siglo XVII dos (1624 y 1625); en el siglo XVIII cuatro (1739 (dos), 1787 y 1791); y en el siglo XIX una, en el año 1899.

Ya en el siglo XX las referencias aumentan considerablemente, contabilizándose 22 registros de inundaciones causadas por el Aragón y sus afluentes hasta el año 1982.

Además, cabe destacar las inundaciones de octubre de 2012. El río Aragón ocupó todo su territorio en Castiello de Jaca, llevándose por delante varias viviendas unifamiliares construidas sobre su cauce secundario, aunque no causó víctimas (Acín *et al.*, 2012; Serrano-Notivoli *et al.*, 2015).

- Río Gállego

En este trabajo se han analizado los datos del aforo del río Gállego en Anzánigo, desde 1949/1950 hasta 2011/2012. Los valores obtenidos para el caudal anual medio y la aportación anual media son, respectivamente, 26,64 m³/s y 835,67 hm³. Con esta serie de datos se ha elaborado un gráfico de evolución del caudal y de las aportaciones (Figura 2).

Como ocurre con los datos del aforo del río Aragón en Jaca, los datos obtenidos no son coincidentes con los presentados por García-Ruíz *et al.* en sus publicaciones de 1985 y 2001 (ver Tabla 20). Igualmente, la hoja de cálculo se incluye en el Anexo VII.

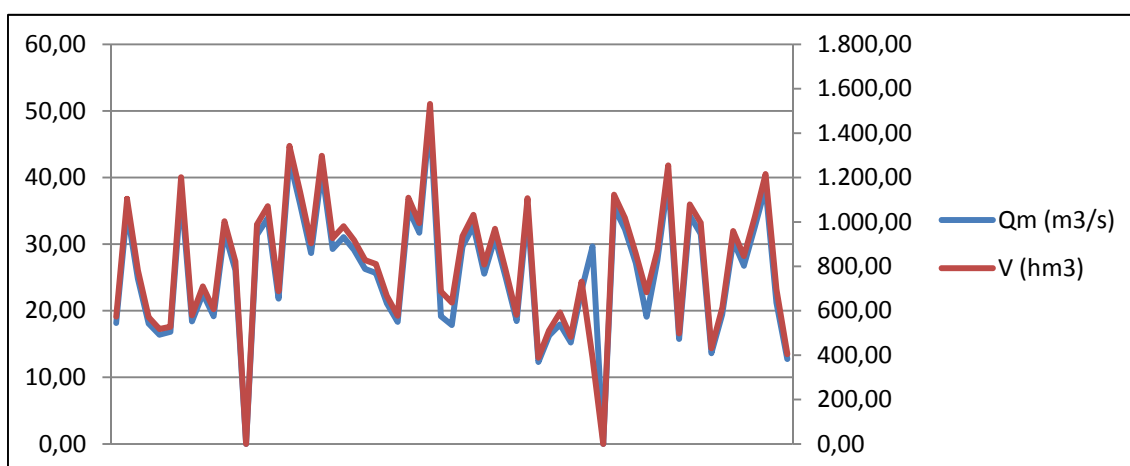


Figura 2. Evolución del caudal anual medio y la aportación anual media del río Gállego a su paso por Anzánigo. 1949-2012. (*Elaboración propia*).

Tabla 20. Diferentes datos de caudal y aportación anuales medios en el aforo del río Gállego en Anzánigo (García-Ruíz *et al.*, 1985; García-Ruíz *et al.*, 2001; cálculos propios). (*Elaboración propia*).

	Dato extraído de García-Ruíz <i>et al.</i> , 1985	Dato extraído de García-Ruíz <i>et al.</i> , 2001	Dato obtenido de cálculos propios
Q (m ³ /s)	27,91	27,6	26,64
V (hm ³)	870,82	850,8	835,67

En cuanto al régimen fluvial, el característico recorrido N-S del río Gállego hace que presente una gran variedad de ambientes.

En cabecera, aparece un régimen nivo-pluvial, marcado por el ritmo de retención-fusión nival. Aquí, el máximo de caudal se da a finales de primavera y el mínimo en invierno. Ya en el tramo medio, en Anzánigo y Santa Eulalia, el máximo se adelanta por la suma del deshielo y las precipitaciones primaverales, y el mínimo es estival. Así, este tramo se caracteriza por un régimen pluvio-nival (Del Valle *et al.*, 2007).

Aguas abajo, en Ardisa, comienza a verse más afectado por la influencia mediterránea, por lo que el periodo de aguas altas comienza a finales del invierno y el mínimo estival es más acusado. Presenta, por tanto, un régimen pluvial mediterráneo (Del Valle *et al.*, 2007).

Del Valle *et al.* (2007) apuntan que en el último tramo hay una inversión de las fases de aguas altas y bajas respecto a lo que debería ser naturalmente: ahora los máximos se dan en invierno y comienzos de la primavera y los mínimos a principio del otoño. Este hecho ha sido estudiado por la Confederación Hidrográfica del Ebro a partir del modelo Sacramento, que permite calcular los correspondientes caudales naturalizados.

En cuanto a las crecidas históricas, Del Valle *et al.* (2007) indican que las primeras de las que se tiene constancia se remontan a los siglos XIV (1321 y 1348) y XVIII (1707 y 1738), las cuales destruyeron puentes y azudes. Las del siglo XIX ya aparecen más documentadas (1833, 1839 y 1841), que además de acabar con puentes, arrasaron cultivos. El análisis realizado del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (2010) corrobora estas referencias (excepto la de 1833, que no ha sido encontrada), pero se deben añadir las de 1827, 1871, 1878, 1883, 1886 y 1892.

La mayor crecida está datada el 25 de septiembre de 1900, fecha en la que el caudal del Gállego a su paso por el puente de Santa Isabel en Zaragoza se elevó hasta los 1.548 m³/s (Del Valle *et al.*, 2007; CNIH, 2010).

Ya en el siglo XX hay registros de crecidas significantes, concretamente, Del Valle *et al.* (2007) hacen referencia a las de 1907, 1908, 1926, 1927, 1936, 1937, 1938, 1939, 1960, 1979, 1982 y 1997. Analizando el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas se han encontrado todos esos registros y los de once años más, haciendo un total de 28 eventos, cinco de ellos en el año 1939.

La mayoría de estas inundaciones no causaron daños relevantes, debido, en gran medida, a la capacidad de laminación de los embalses (Del Valle *et al.*, 2007; CNIH, 2010).

Sin embargo, algunas sí provocaron graves daños. Cabe destacar las inundaciones de noviembre de 1982 (en la casi totalidad de localidades ribereñas, daños en infraestructuras de captación de agua, vías de comunicación, alcantarillado, puentes y obras de defensa) y la de agosto de 1996 del barranco de Arás, que causó 87 muertos.

3.1.2. EXPOSICIÓN: NÚCLEOS DE POBLACIÓN.

La información que a continuación se presenta como descripción de las localidades ha sido obtenida del Instituto Aragonés de Estadística, más concretamente, de las fichas de estadística municipal y local actualizadas a 15 de junio de 2015. Esta información se basa en los padrones municipales de 2013 y 2014, en el censo de población y viviendas de 2011, y en información de la Dirección General del Catastro y del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

La excepción es la evolución demográfica de cada municipio, que se ha elaborado a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística. Por un lado, se comenta y se muestra el gráfico de evolución de la serie larga, con datos del padrón cada 10 años, desde 1900 hasta 1991. Por otro, se comenta y se muestra el gráfico de evolución de la serie reciente, desde 1998 hasta 2014. Las tablas con los datos completos se encuentran en el Anexo IX.

En la cuenca del Aragón han sido estudiados los términos municipales de Canfranc, Villanúa, Castiello de Jaca y Jaca, todos pertenecientes a la comarca de La Jacetania.

Concretamente, las localidades estudiadas son las capitales de cada término municipal y Canfranc-Pueblo (también llamado Canfranc Antiguo).

➤ Canfranc tiene una superficie de 71,6 km². Presenta dos núcleos poblacionales, ambos incluidos en este estudio: Canfranc o Canfranc-pueblo, con 84 habitantes, y Canfranc-Estación, con 470. Este último es la capital del municipio, y se encuentra situado a 1.037 m de altitud.

Históricamente, Canfranc ha sufrido dos repuntes de población: uno en la década 1900-1910, con un aumento de 700 habitantes (máximo aumento de la serie), y otro en 1920-1930, con un incremento de 594 habitantes con el que Canfranc alcanzó su máximo de población -1.698 habitantes-. Desde entonces y hasta el final de la serie

larga (1991), la población de Canfranc sólo disminuyó, produciéndose la caída más fuerte en la década 1970-1981 (casi 400 habitantes). El mínimo de la serie se encuentra en el año 1991, con 610 habitantes.

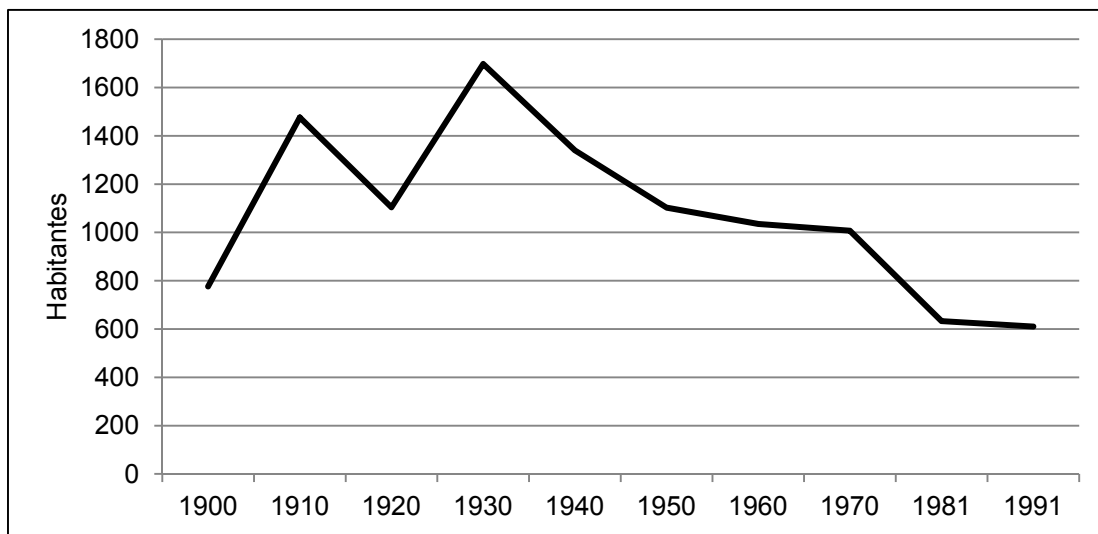


Figura 3. Evolución demográfica en Canfranc. 1900-1991. *(Elaboración propia).*

Ya en la serie reciente, se parte de 526 habitantes en 1998, que corresponde con el mínimo de la serie. Durante los cinco años siguientes, la población se mantiene casi estable, con unas variaciones interanuales máximas entre ± 7 habitantes. De 2003 a 2006 se produce un aumento paulatino importante, casi 150 habitantes y se alcanza el máximo de la serie, 678 habitantes. Desde ahí hasta la actualidad la población en Canfranc va disminuyendo hasta presentar 554 habitantes en 2014.

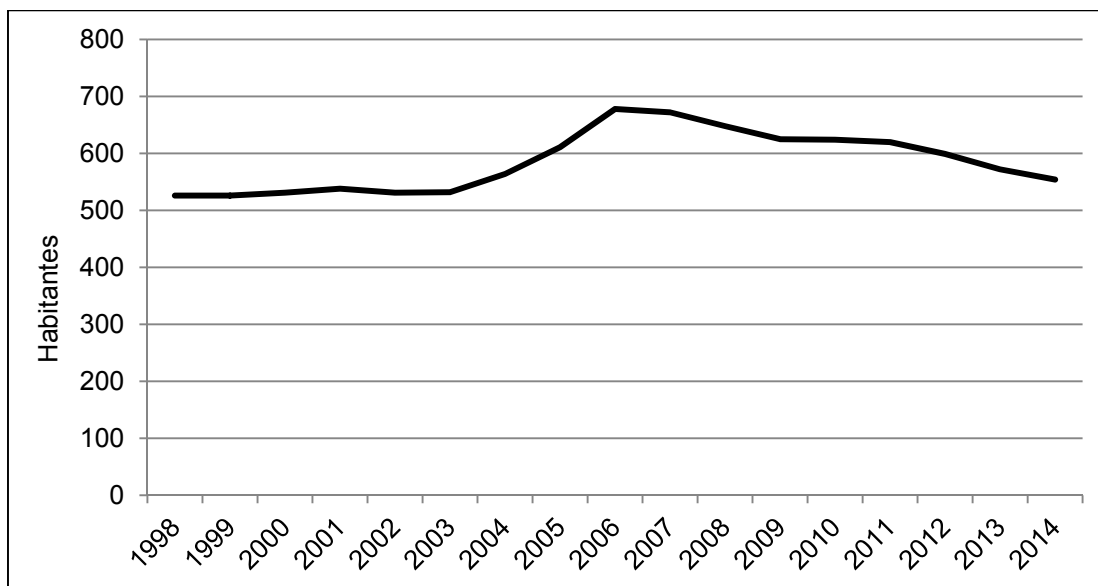


Figura 4. Evolución demográfica en Canfranc. 1998-2014. *(Elaboración propia).*

Actualmente, la edad media de sus habitantes es 45,2, y tan sólo un 17,1% tiene más de 65 años. En el total de Aragón, la edad media es 43,9 años y el porcentaje de habitantes con más de 65 años es de 20,8%. Por otro lado, el 5,1% de la población es extranjera, frente al 11,3% que se da en la Comunidad Autónoma.

En el año 2013, la tasa de natalidad era 3,6 y la de mortalidad 1,8, ambas expresadas en tanto por mil.

Según datos catastrales, sólo el 0,7% de la superficie municipal es urbana. Existen 1.343 viviendas, de las cuales 1.032 son segundas residencias. Y en cuanto a oferta turística, el municipio cuenta con cuatro hoteles y cuatro casas rurales, con un total de 400 plazas.

Respecto a sus valores ambientales, el municipio de Canfranc presenta cinco zonas protegidas: tres LICs (“Los Valles”, “Collarada y Canal de Ip” y “Pico y turberas del Anayet”) y dos ZEPAs (“Los Valles”, y “Collarada-Ibón de Ip”).

➤ El término municipal de Villanúa, con una superficie de 58,2 km², con sólo un núcleo poblacional, el de la localidad que le da nombre, cuenta con 475 habitantes y presenta una altitud de 950 m.

La tendencia de la evolución demográfica desde 1910 hasta 1991 ha sido a disminuir drásticamente, especialmente en el periodo 1910-1940 (se perdieron más de 400 habitantes). Tras un leve repunte en la década de los 40 (11 habitantes), apareció otro periodo de disminución. Durante tres décadas (de los 50 a los 80) la población disminuyó en 273 habitantes, alcanzando el mínimo (241). La serie termina, pues, con un nuevo repunte que sitúa en 268 los habitantes de Villanúa en 1991.

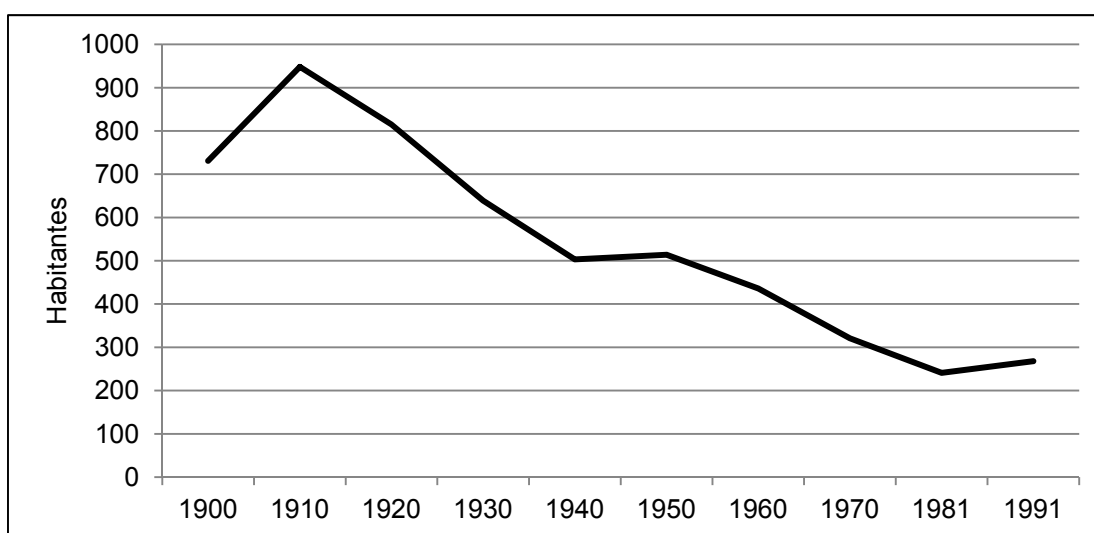


Figura 5. Evolución demográfica en Villanúa. 1990-1991. *(Elaboración propia).*

Los rangos de población de la serie reciente se sitúan algo más abajo. El mínimo se da en 1998, con 332 habitantes, y el máximo en 2011, con 512. Entre estos dos años, la población en Villanúa sólo tiende al aumento, a excepción del año 2003, en el que se perdieron nueve habitantes.

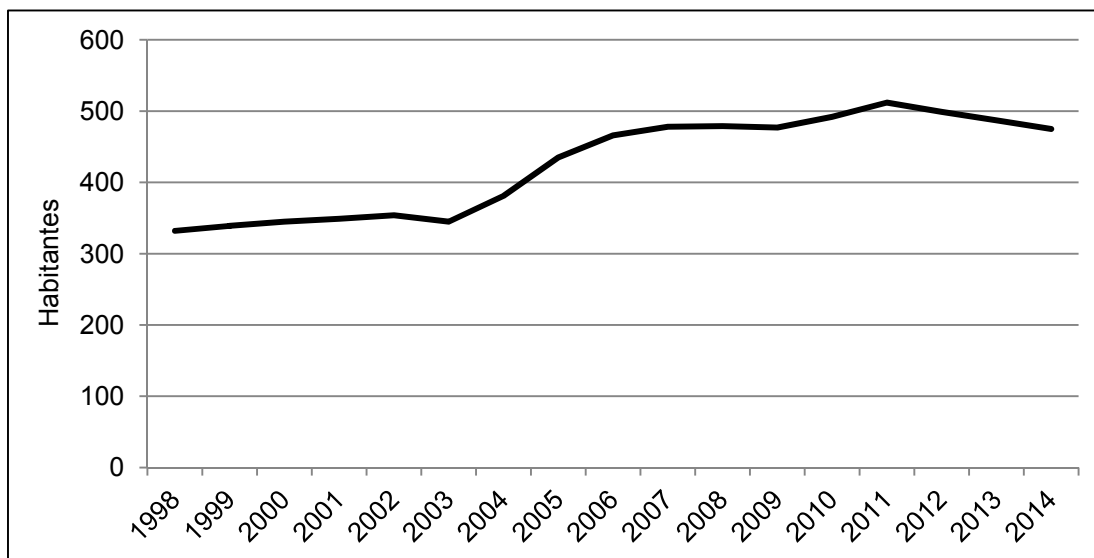


Figura 6. Evolución demográfica en Villanúa. 1998-2014. *(Elaboración propia).*

La edad media es de 44,6 y sólo el 16,8% de sus habitantes tiene más de 65 años, valores inferiores a los de Canfranc aunque la edad media sigue siendo superior a la aragonesa. Aquí la población extranjera representa el 15,6% del total municipal, valor por tanto más elevado que en Canfranc y que supera también al que se da en el total de Aragón.

Las tasas de natalidad y mortalidad en 2013 alcanzaban valores de 2,1 y 12,5 por mil, respectivamente. Estos datos dejan un saldo vegetativo negativo, por lo que la situación es peor que en Canfranc.

En cuanto a superficie catastral, la urbana asciende aquí al 1,6%, pero se mantiene el hecho de ser la mayoría de las viviendas segunda residencia. De 1.901 viviendas, sólo 224 son principales.

Villanúa cuenta con un hotel, tres viviendas de turismo rural y doce apartamentos turísticos. En total existen 103 plazas ofertadas.

Para terminar, el municipio presenta siete zonas protegidas por sus valores ambientales. De ellas, dos son ZEPAs (“Los Valles” y “Collarada-Ibón de Ip”, compartidas con Canfranc) y cinco son LICs (“Los Valles”, “Garcipollera-Selva de Villanúa”, “Curso alto del río Aragón”, “Collarada y Canal de Ip” y “Cuevas de Villanúa”).

➤ Castiello de Jaca abarca una superficie de 17,3 km² y cuenta con dos núcleos poblacionales: Castiello de Jaca, capital del municipio con 202 habitantes y situado a 914 m de altitud, y Aratorés, con 41. Este último no ha sido incluido en el estudio.

En 1910 Castiello llegaba a tener 664 habitantes, máximo valor de las series estudiadas. Desde entonces la tendencia general ha sido a disminuir, exceptuando un leve repunte del año 1920 al 1930, con un aumento de 33 habitantes. La máxima variación se da entre 1910 y 1920, con un descenso de casi 200 habitantes. También cabe destacar la variación entre 1960 y 1981, pues en 20 años la población disminuyó en 241 habitantes. La serie termina con el mínimo de 1991: 139 habitantes.

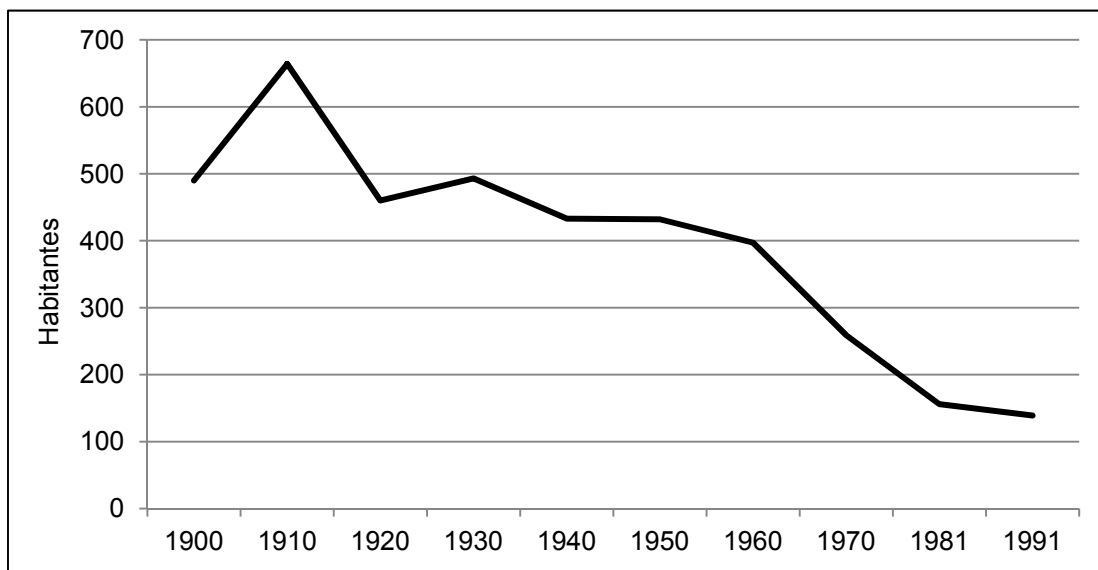


Figura 7. Evolución demográfica en Castiello de Jaca. 1990-1991. *(Elaboración propia).*

La serie más reciente comienza con un valor algo superior al que cerraba la serie anteriormente presentada: 160 habitantes en 1998. Después, la población en Castiello de Jaca continuó aumentando hasta el año 2009, donde alcanzó un máximo reciente con 265 habitantes. Este valor no se superaba desde el año 1970 (397 habitantes). Desde el año 2010, la población se ha mantenido prácticamente estable, con leves incrementos y descensos que varían entre +20 y -13 habitantes.

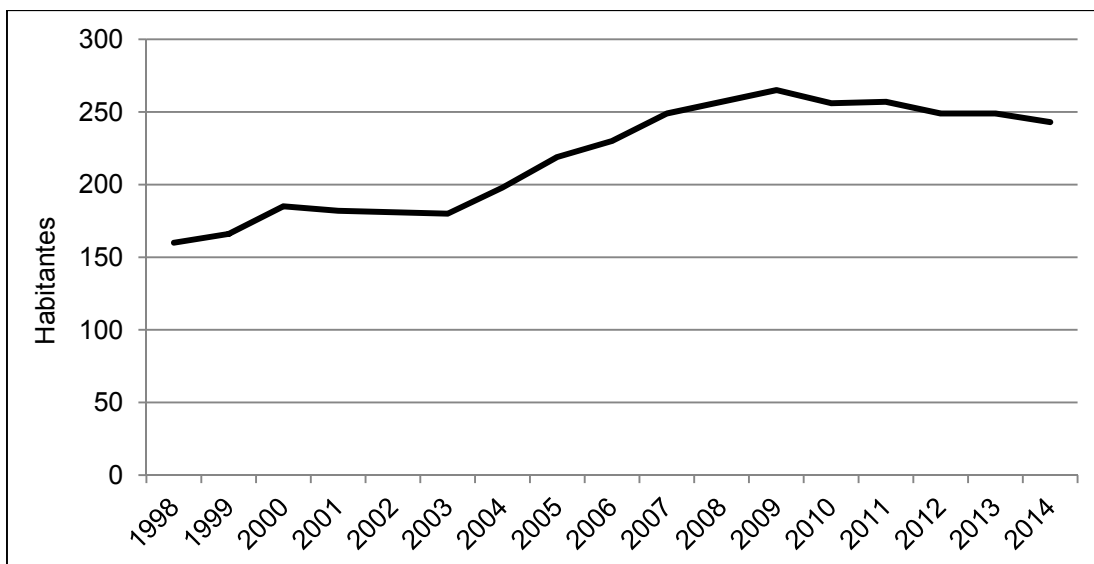


Figura 8. Evolución demográfica en Castiello de Jaca. 1998-2014. *(Elaboración propia).*

La edad media es de 46,5 y el 19,3% de la población tiene más de 65 años. Son los valores más altos de los tres municipios vistos hasta aquí, aunque el porcentaje de población envejecida es aún inferior al de Aragón (20,8%). En contraste, la población extranjera residente es la mínima de los tres, con un 2,1%.

En 2013, no hubo nacimientos, por lo que la tasa de natalidad era nula; mientras que la de mortalidad se situaba en el 4,1 por mil. Esto dejaba un saldo vegetativo negativo pero superior al de Villanúa.

La superficie urbana representa el 1,4% de la superficie catastral, y como en los anteriores, la gran mayoría de viviendas son segunda residencia (489 de 598).

Castiello de Jaca es el municipio menos turístico de los estudiados en la cuenca del Aragón. Oferta 82 plazas, entre un hotel y cinco viviendas de turismo rural.

En cuanto a zonas protegidas, sólo cuenta con dos LICs y los dos compartidos con Villanúa: “Garcipollera-Selva de Villanúa” y “Curso alto del río Aragón”.

➤ La ciudad de Jaca, situada a 818 m de altitud, además de ser la capital de su término municipal, es la capital de la comarca de La Jacetania. En los 406,3 km² de superficie del municipio, se encuentran 36 núcleos poblacionales que suman un total de 13.121 habitantes. De estos, 12.147 residen en Jaca, única localidad estudiada. Del resto de localidades, sólo cinco de ellas presentan poblaciones iguales o superiores a 50 habitantes: Atarés (50), Barós (99), Guasa (71), Guasillo (64), y Badaguás (57).

La evolución demográfica de Jaca destaca por ser, junto a Sabiñánigo, la única que entre 1900 y 1991 sólo presenta aumentos. La serie comienza con 4.934 habitantes y termina con 14.426. La variación más fuerte se da en la década de los 70, con un aumento de más de 2.600 habitantes.

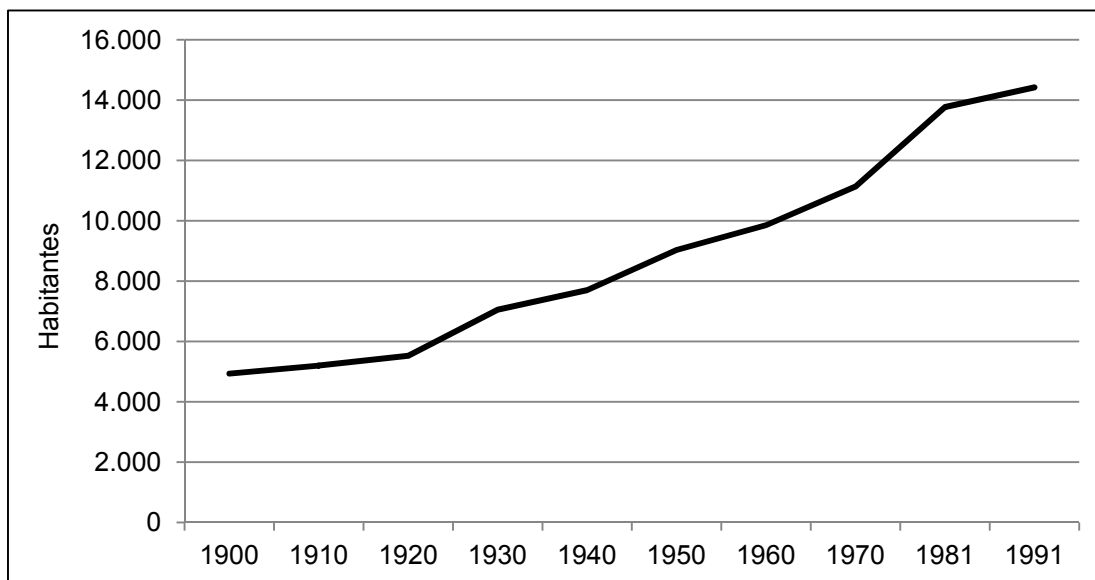


Figura 9. Evolución demográfica en Jaca. 1990-1991. *(Elaboración propia).*

De la misma forma, la serie reciente también muestra sólo aumentos hasta el año 2009. Comienza con 11.197 habitantes en 1998 y alcanza el máximo reciente en 2009 con 13.396 (valor sólo superado en las dos últimas décadas del siglo XX). Después, y hasta la actualidad, tiende al descenso moderado, siendo la variación más brusca la que se da entre 2013 y 2014: disminución de 100 habitantes.

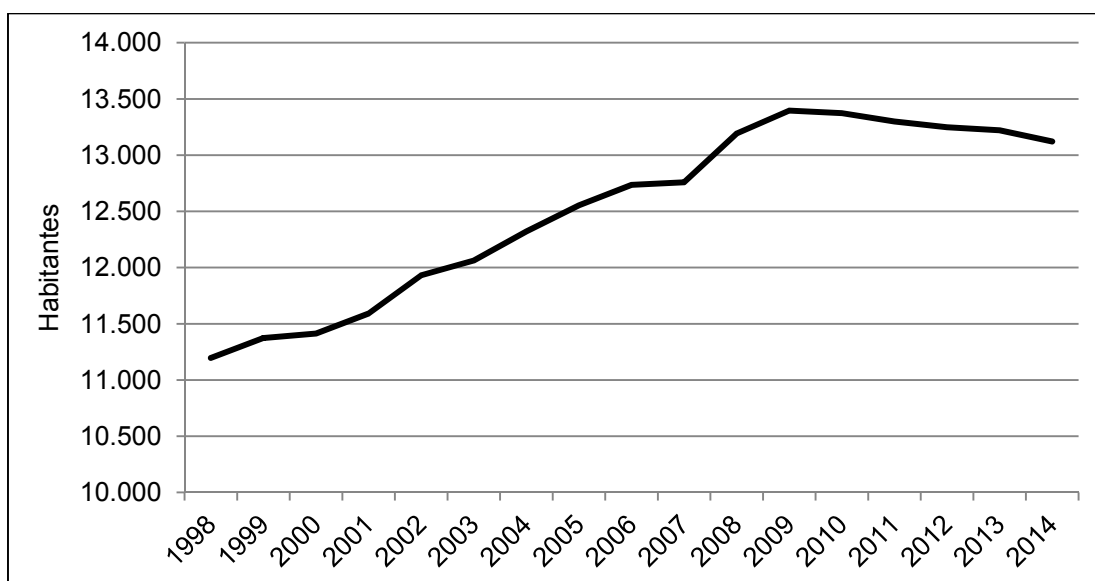


Figura 10. Evolución demográfica en Jaca. 1998-2014. *(Elaboración propia).*

La edad media se sitúa en 42,9 años. Así, Jaca es el único municipio de los cuatro estudiados en la cuenca del Aragón en la que la edad media es inferior a la aragonesa (43,9). Por otro lado, el 18,4% de la población es mayor de 65 años; por lo que Jaca presenta una población más envejecida que Canfranc y Villanúa pero menos que Castiello y el total de Aragón. Además, la población extranjera representa el 6,8% del total municipal.

En 2013, la tasa de natalidad era de 13 por mil, la mayor de las cuatro vistas hasta aquí; y la de mortalidad, 10,6 por mil, sólo por debajo de la Villanúa.

Pese al elevado número de habitantes (en comparación con los anteriores términos municipales presentados), que puede llevar a pensar en una gran superficie urbana, esta tan sólo representa el 1,2% del total catastral. En Jaca aumenta el porcentaje de primeras viviendas, aunque la mayoría siguen siendo segundas residencias: 5.295 de 16.075 son primeras.

La oferta turística aquí es mucho mayor. Se ofertan casi 4.500 plazas, repartidas entre 28 hoteles, 20 casas rurales, 3 campings y 67 apartamentos turísticos.

Por último, cabe destacar la riqueza de ambientes naturales con características propias que presenta el término municipal de Jaca, que le lleva a contar con trece zonas protegidas: un espacio natural protegido, ocho lugares de importancia comunitaria y cuatro zonas de especial protección para las aves.

- ENP: “Paisaje protegido de San Juan de la Peña y Monte Oroel”.
- LICs: “Río Aragón – Canal de Berdún”, “Río Aragón (Jaca)”, “Río Gas”, “Garcipollera – Selva de Villanúa”, “Sierras de Los Valles, Aísa y Borau”, “Sierras de San Juan de La Peña y Peña Oroel”, “San Juan de la Peña” y “Collarada y Canal de Ip”.
- ZEPAs: “Los Valles”, “Sotos y carrizales del río Aragón”, “San Juan de la Peña y Peña Oroel” y “Collarada – Ibón de Ip”.

Por la parte de la cuenca del Gállego, se han estudiado los términos municipales de Biescas, Sabiñánigo y Gurrea de Gállego. Y concretamente, las localidades que son capitales de cada uno (homónimas). Los dos primeros pertenecen a la comarca del Alto Gállego; mientras que Gurrea de Gállego forma parte de La Hoya de Huesca.

➤ Biescas, municipio montañoso de los Pirineos, ocupa 189,1 km². Abarca trece localidades que suman 1.535 habitantes, siendo la capital Biescas, a 860 m de altitud y con 1.163 habitantes. De las doce localidades restantes, sólo dos superan los cincuenta habitantes: Gavín (89) y Piedrafita de Jaca (56).

La evolución demográfica del siglo XX en Biescas es bastante irregular. Presenta tres picos altos. El primero en 1920, máximo de la serie, con 1.812 habitantes. El segundo en 1950, alcanzando los 1.716 habitantes tras una gran caída entre los años 20 y 40 (más de 700 habitantes). Y el tercero en 1970, con 1.338 habitantes, que representa una recuperación de la población tras la caída de la década anterior (disminución de más de 600 habitantes entre 1950 y 1960). La serie termina con 1.142 habitantes en 1991.

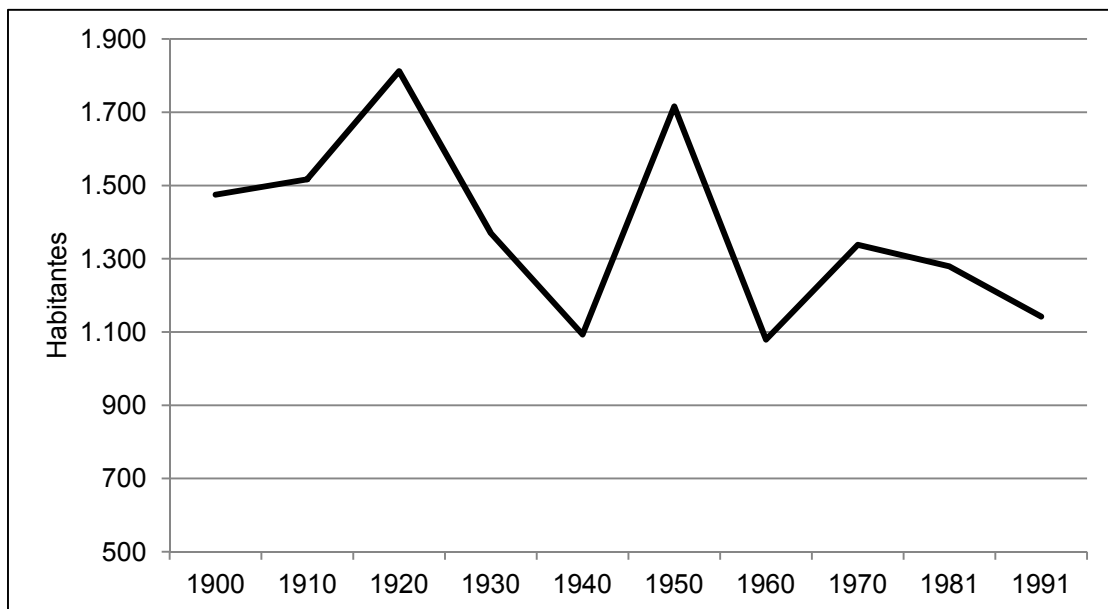


Figura 11. Evolución demográfica en Biescas. 1990-1991. *(Elaboración propia).*

La serie reciente es más tranquila. Parte de 1.243 habitantes en 1998 (dato superior al del final de la serie anterior) y aumenta paulatinamente hasta alcanzar los 1.712 en el año 2008. Desde ahí sólo disminuye hasta el final de la serie, pero muy ligeramente (menos de 200 habitantes).

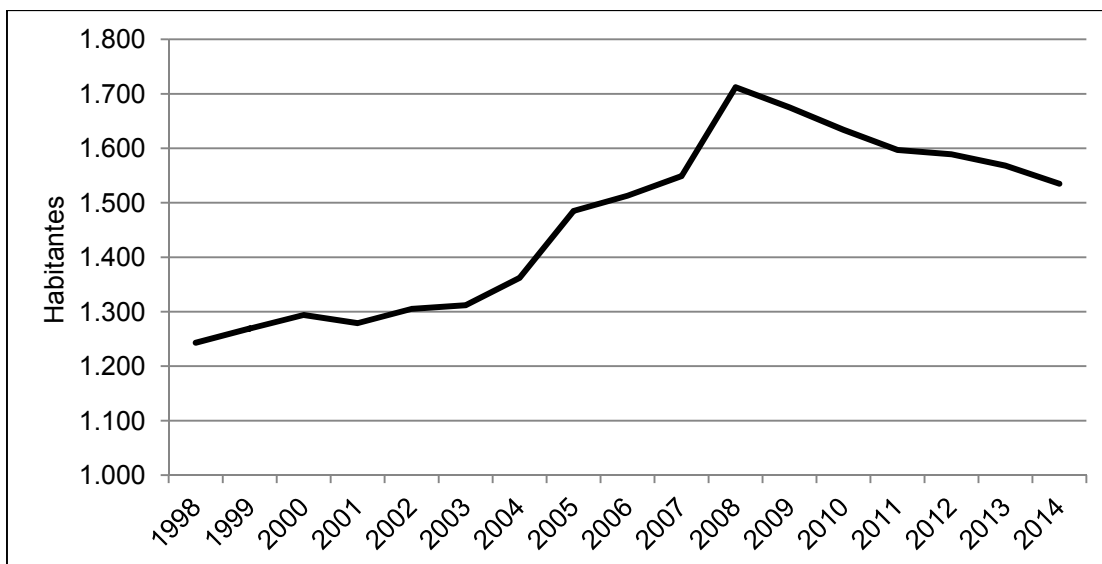


Figura 12. Evolución demográfica en Biescas. 1998-2014. *(Elaboración propia).*

La edad media es de 44,9 años, y la población mayor de 65 años representa el 19,5% del total. Por otro lado, los extranjeros son el 13,2% de la población municipal, dato superior al autonómico (11,3%).

Las tasas de natalidad y mortalidad eran en 2013 de 5,8 y 14,2 por mil, respectivamente, lo que deja un saldo vegetativo negativo muy bajo. Los correspondientes valores en Aragón son de 8,9 y 10,2, por lo que la tasa de mortalidad en Biescas está bastante por encima de la autonómica.

En cuanto a superficie catastral, sólo el 1,0% es urbana; y de las 3.040 viviendas existentes, sólo 685 son primera vivienda. La oferta turística es elevada: hay más de 1.300 plazas ofertadas, repartidas entre 11 hoteles, 13 casas rurales, 1 camping y 42 apartamentos turísticos.

Por último, el término municipal cuenta con siete áreas protegidas. Cinco de ellas son LICs (“Río Gállego (Ribera de Biescas)”, “Sobrepuerto”, “Puerto de Otal – Cotefablo”, “Telera – Acumuer” y “Tendeñera”) y dos son ZEPAs (“Sierra de Canciás – Silves” y “Viñamala”).

➤ Sabiñánigo tiene una extensión de 586,8 km². Su capital, homónima, está ubicada a 797 m de altitud en los Pirineos oscenses. En el término municipal se integran 55 localidades. Todas suman un total de 9.883 habitantes, de los cuales 8.837 residen en el propio Sabiñánigo. Sólo cinco localidades de las 54 restantes presentan más de cincuenta habitantes: Cartirana (51), Larrés (85), Sabiñánigo Alto (55), Senegüé (100) e Ibort (79).

Como se ha dicho antes, al analizar Jaca, la evolución demográfica de Sabiñánigo destaca por tender sólo al aumento en la serie completa desde 1900 hasta 1991. Aunque la variación es similar entre ambas ciudades (aumento de unos 10.000 habitantes), Sabiñánigo comienza desde un nivel bastante más bajo: 280 habitantes frente a los casi 5.000 de Jaca. La serie aquí termina con 9.917 habitantes, y las variaciones más bruscas se dan entre el 50 y el 60 (más de 3.000 habitantes), y entre este y el 70 (casi 2.500). El resto de variaciones interanuales son también fuertes, pero en ningún caso superan los mil habitantes.

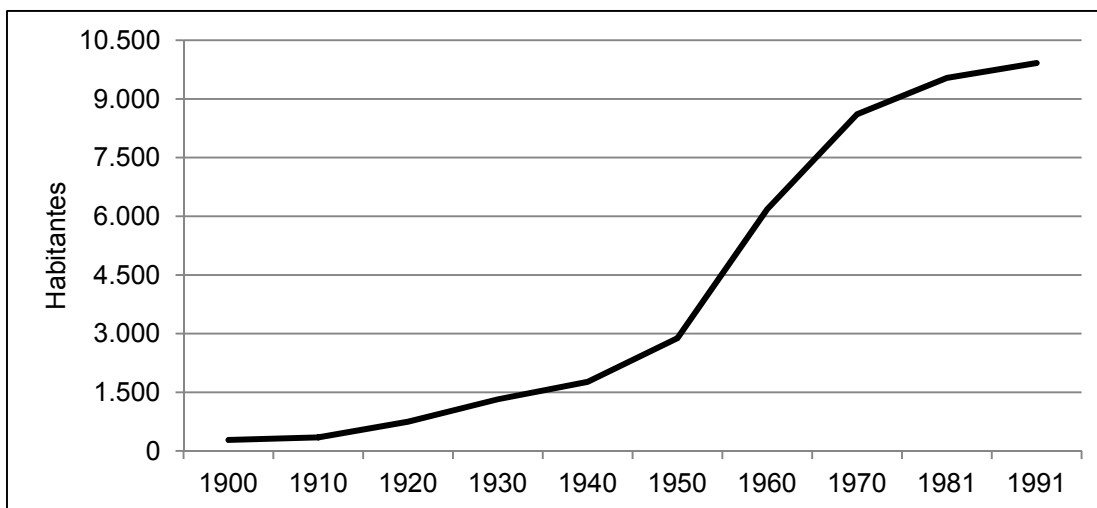


Figura 13. Evolución demográfica en Sabiñánigo. 1990-1991. *(Elaboración propia).*

La evolución reciente es algo más irregular, pero en líneas generales también tiende al aumento. Sólo desciende en el periodo 1998-2001, en 342 habitantes, y tras alcanzar el máximo en 2010 (10.383), que entonces desciende hasta el final de la serie. Las variaciones más bruscas se dan entre 2006 y 2007, y entre 2007 y 2008, siendo un aumento de 409 y 439 habitantes, respectivamente.

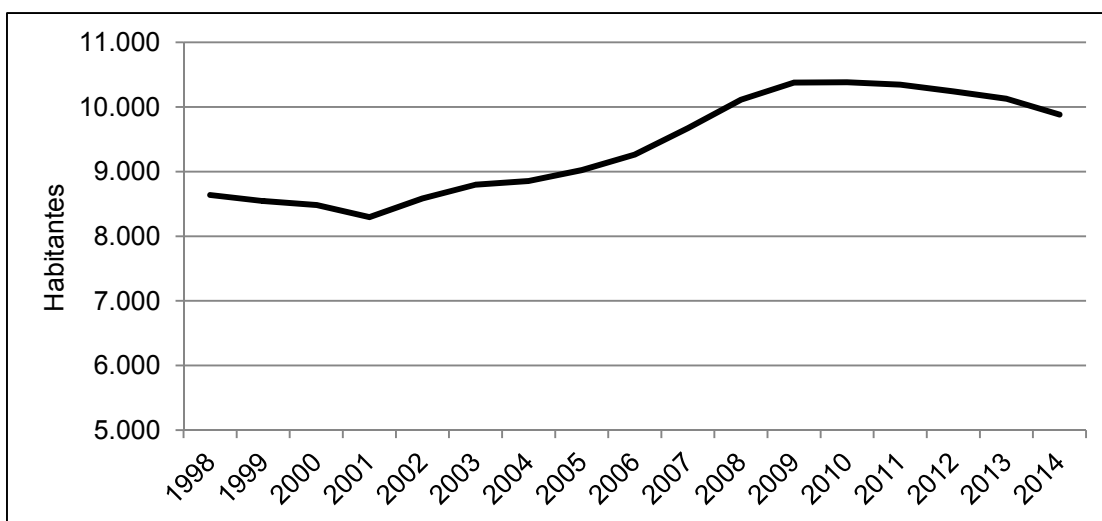


Figura 14. Evolución demográfica en Sabiñánigo. 1998-2014. *(Elaboración propia).*

La edad media es de 44,1 años y el 20,0% de la población es mayor de 65 años. La población extranjera representa el 14,3% del total, superior al autonómico (11,3%).

En 2013, la tasa de natalidad fue de 7,6, y la de mortalidad, de 8,7, ambas expresadas en tanto por mil. Por tanto, el saldo vegetativo fue negativo; y ambos valores están por debajo de los valores autonómicos.

Por otro lado, la superficie urbana representa el 1,4% de la superficie catastral, y de las 7.069 viviendas existentes, más de la mitad son primera vivienda (4.076). La oferta turística es también aquí elevada. Hay más de 2.300 plazas, entre 18 hoteles, 11 casas rurales, 2 campings y 27 apartamentos turísticos.

Debido a su variedad de ambientes, el término municipal de Sabiñánigo cuenta con multitud de zonas protegidas (una más que Jaca). Concretamente, un espacio natural protegido, diez lugares de importancia comunitaria y tres zonas de especial protección para las aves.

- ENP: “Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara”.
- LICs: “La Guarguera”, “Collarada y Canal de Ip”, “Río Aurín”, “Río Gállego (Ribera de Biescas)”, “Sierras de San Juan de la Peña y Peña Oroel”, “Sobrepuerto”, “Telera – Acumuer”, “Tuberas de Acumuer”, “Garcipollera – Selva de Villanúa” y “Guara Norte”.
- ZEPAs: “Sierra de Canciás – Silves”, “Sierra y Cañones de Guara” y “Collarada – Ibón de Ip”.

➤ Gurrea de Gállego es el término municipal más al sur de la provincia de Huesca. Tiene una extensión de 192,0 km², que abarca tres núcleos: Gurrea (1.066 habitantes), La Paúl (147) y El Temple (422). Juntos hacen un total de 1.575 habitantes. El primero de ellos es su capital, y está situado a 341 m de altitud.

Desde 1900, la población en Gurrea de Gállego sufrió dos décadas de crecimiento moderado, desde 1.514 (mínimo de la serie) hasta 1.823 habitantes. Después descendió durante un periodo igual al anterior, pero la cifra se quedó próxima a la de 1910: 1.626 habitantes (1.619 en 1910). Igualmente, durante los siguientes veinte años la población volvió a aumentar, hasta alcanzar en 1960 los 2.600 habitantes (máximo de la serie), para después descender hasta el final de la serie. La variación más brusca se da entre 1950 y 1940, con un aumento próximo a los 575 habitantes.

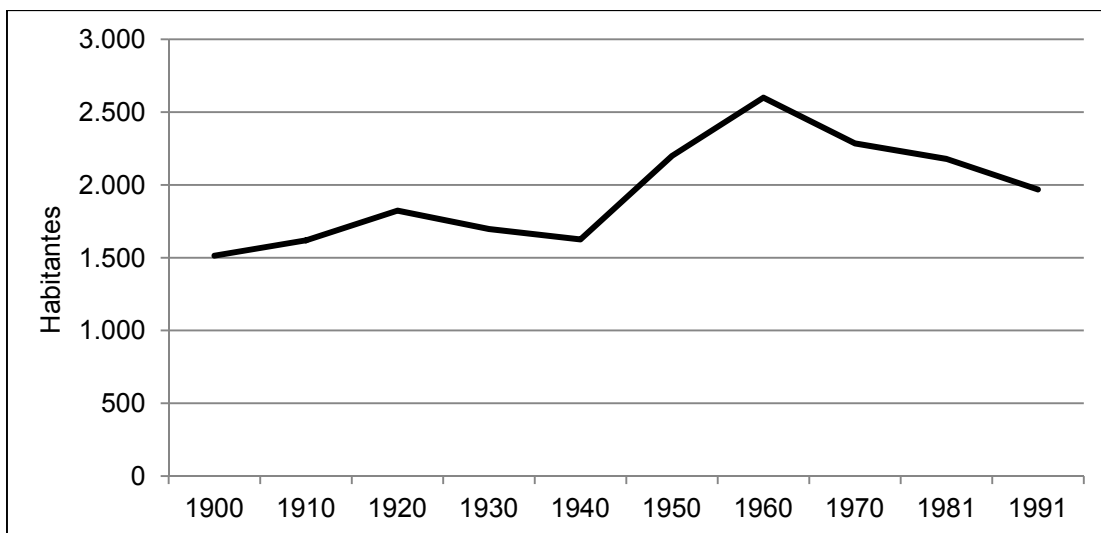


Figura 15. Evolución demográfica en Gurree de Gállego. 1990-1991. *(Elaboración propia).*

La evolución demográfica reciente de Gurree de Gállego es la única de todas las presentadas que tiende casi por completo al descenso. Desde 1998 hasta 2014 la población ha disminuido en unas 300 personas (296). Se exceptúa el periodo 2003-2005, en el que el número de habitantes se vio incrementado en 21 personas.

No hay variaciones interanuales muy bruscas, pues se sitúan entre +17 (años 2004-2005) y -53 (2002-2003).

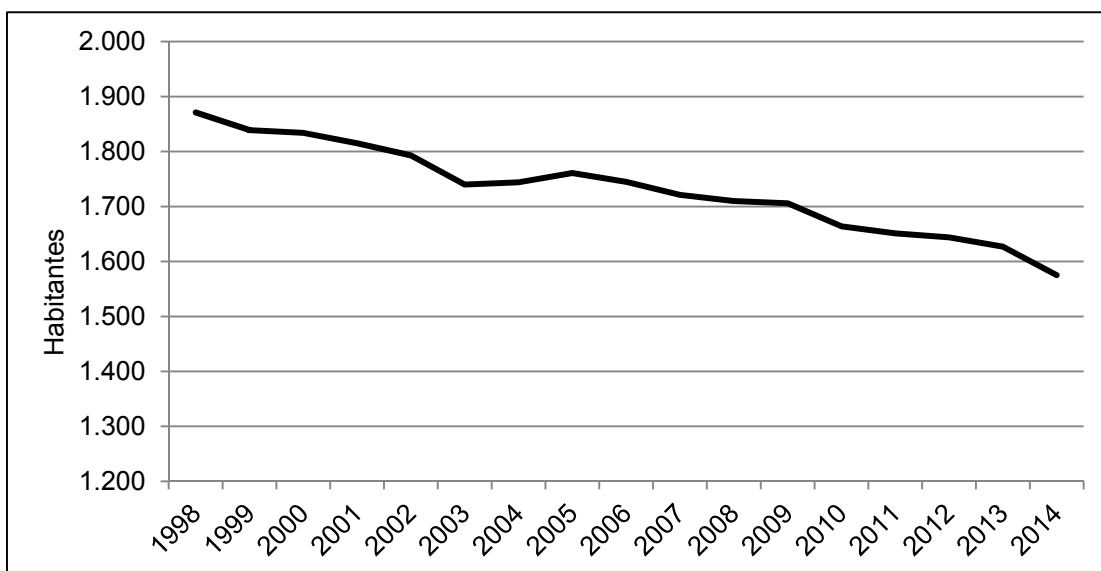


Figura 16. Evolución demográfica en Gurree de Gállego. 1998-2014. *(Elaboración propia).*

La edad media actualmente es de 50,2 años y la población mayor de 65 años es el 30,3% del total. Son los valores más altos de los vistos hasta ahora y sobrepasan largamente los valores autonómicos (43,9 años y 20,8%). Además, tan sólo el 5,1% de la población es extranjera.

En 2013, las tasas de natalidad y mortalidad fueron, respectivamente, de 6,9 y 15,0 por mil, lo que implica un saldo vegetativo negativo muy bajo.

En cuanto a superficie catastral, sólo el 0,5% es urbana, valor muy bajo en comparación con el resto de valores vistos hasta ahora, y de las 944 viviendas, 695 son principales. La oferta turística es escasa en cuanto a variedad, pues sólo existe un camping, pero que cuenta con casi 500 plazas.

Por último, cabe destacar que a pesar de estar en un ambiente de agricultura extensiva de regadío, el término municipal cuenta con tres zonas protegidas: dos LICs (“Montes de Zuera” y “Bajo Gállego”) y una ZEPA (“Montes de Zuera, Castejón de Valdejasa y El Castellar”).

Por la importancia que puede tener la población flotante en el riesgo de inundación, se ha elaborado un gráfico (Figura 17) de porcentajes en las localidades estudiadas de números de viviendas por tipos y plazas de oferta turística, con los datos ya presentados en este apartado.

El mayor porcentaje de primeras viviendas se da en Gurrea de Gállego; el de segundas viviendas, en Villanúa; y el de oferta turística en Biescas y Gurrea.

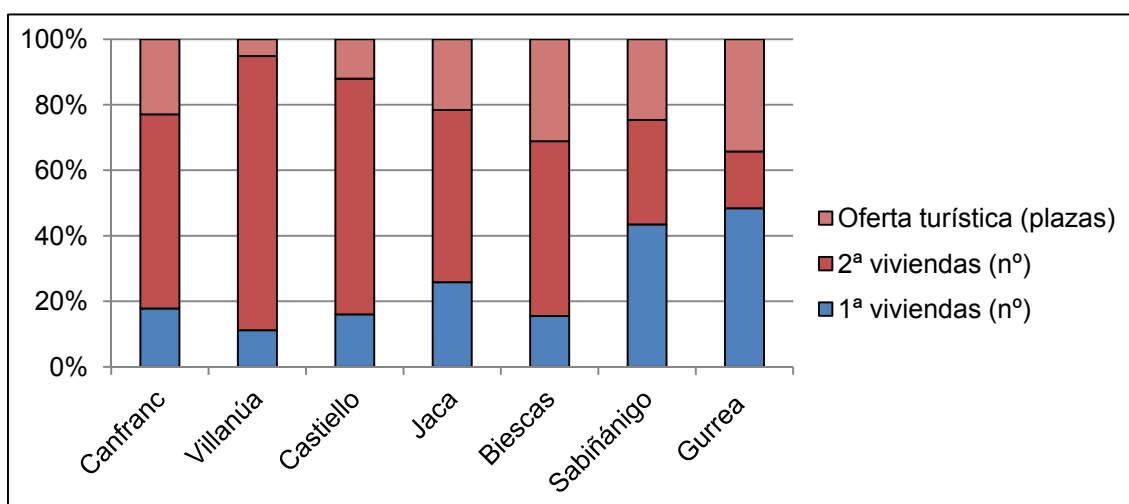


Figura 17. Porcentaje de primeras y segundas viviendas y oferta turística en las localidades estudiadas. *(Elaboración propia).*

Por último, la Tabla 21 recoge el resumen de todos los datos presentados en este apartado de caracterización de los municipios estudiados.

Tabla 21. Datos de caracterización de los municipios estudiados. *(Elaboración propia).*

Término municipal	Canfranc	Villanúa	Castiello de Jaca	Jaca	Biescas	Sabiñánigo	Gurrea de Gállego
Superficie (km ²)	71,6	58,2	17,3	406,3	189,1	586,8	192,0
Altitud (m)	1.037	950	914	818	860	797	341
Nº de localidades	2	1	2	36	13	55	3
Habitantes	554	475	202	13.121	1.535	9.883	1.575
Edad media	45,2	44,6	46,5	42,9	44,9	44,1	50,2
Población >65 años (%)	17,1	16,8	19,3	18,4	19,5	20,0	30,3
Población extranjera (%)	5,1	15,6	2,1	6,8	13,2	14,3	5,1
Tasa natalidad	3,6	2,1	0	13	5,8	7,6	6,9
Tasa mortalidad	1,8	12,5	4,1	10,6	14,2	8,7	15,0
Superficie catastral urbana (%)	0,7	1,6	1,4	1,2	1,0	1,4	0,5
Primeras viviendas (%)	23,2	11,8	18,2	32,9	22,5	57,7	73,6
Oferta turística (nº de plazas)	400	103	82	4.500	1.300	2.300	500
Nº de zonas protegidas	5	7	2	13	7	14	3

3.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO.

3.2.1. RÍO ARAGÓN: CANFRANC-ESTACIÓN

Se han efectuado dos visitas al municipio. La primera el 13 de abril de 2015, en la que se mantuvo la entrevista con el alcalde, D. Fernando Sánchez, (Anexo X) y se efectuaron las observaciones de campo pertinentes desde diferentes puntos (cuatro observadores). La segunda el 25 de junio de 2015, con el fin de ampliar las observaciones realizadas y la documentación fotográfica. En esta ocasión, el número de observadores se redujo a dos.

El total de puntos de observación establecidos en Canfranc-Estación finalmente fue de 10. En el Anexo XI, común a Canfranc-Pueblo, se recogen las observaciones realizadas en cada uno de los puntos, así como las imágenes de ubicación de los puntos de observación y las imágenes de las mediciones de distancia entre núcleo urbano y cauce.

Canfranc-Estación sí presenta diferencias significativas en alguna de sus variables de exposición según el nivel de peligrosidad, diferencias suficientes para provocar un cambio de rango. Los cuatro mapas de usos de suelo de sus zonas inundables se encuentran en el Anexo XII.

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

Canfranc-Estación cuenta con 470 habitantes y 16,63 ha de suelo urbano. De esas hectáreas, 7,56 se incluyen en la zona inundable de periodo de retorno 500 años. Esto hace que 213 habitantes estén expuestos al riesgo de inundación.

Por tanto, con los rangos otorgados en este trabajo, a la variable PEX para este nivel de peligrosidad le corresponde un valor de 4.

Tabla 22. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

La relación entre cercanía del núcleo poblacional al cauce y diferencia de altura es la única variable de exposición que no depende del nivel de peligrosidad, pues, por grande que sea el alcance de la zona inundable, el punto más cercano al cauce será siempre el mismo y será inundado ya en el nivel de peligrosidad más bajo.

En Canfranc-Estación, el punto más cercano del núcleo poblacional al cauce son las viviendas situadas en la margen derecha del río aguas arriba de la estación de ferrocarril. La distancia al cauce es de 1,00 m, y la diferencia de altura, 2,50 m.

Aplicando la fórmula descrita en el apartado 2.3. de este trabajo, se obtiene $CAC=0,63$, que corresponde a un valor final de 5.

Tabla 23. Rango y valor de la variable CAC en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1



Figura 18. Viviendas más próximas al cauce en Canfranc-Estación.
(Foto de Javier Garatachea).

En cuanto a USO, en la zona inundable correspondiente al nivel de peligrosidad más bajo, el porcentaje obtenido de usos incompatibles sobre el total es de 76,36%. Así, siguiendo los rangos establecidos, la variable toma un valor de 5.

Tabla 24. Rango y valor de la variable USO para una peligrosidad muy baja en Canfranc-Estación. (*Elaboración propia*).

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

Estos usos incompatibles son el suelo urbano, con 7,56 ha, y los terrenos asociados a red ferroviaria, con 15,57 ha. Los usos compatibles son praderas (2,29 ha) y bosques de coníferas (4,87 ha).

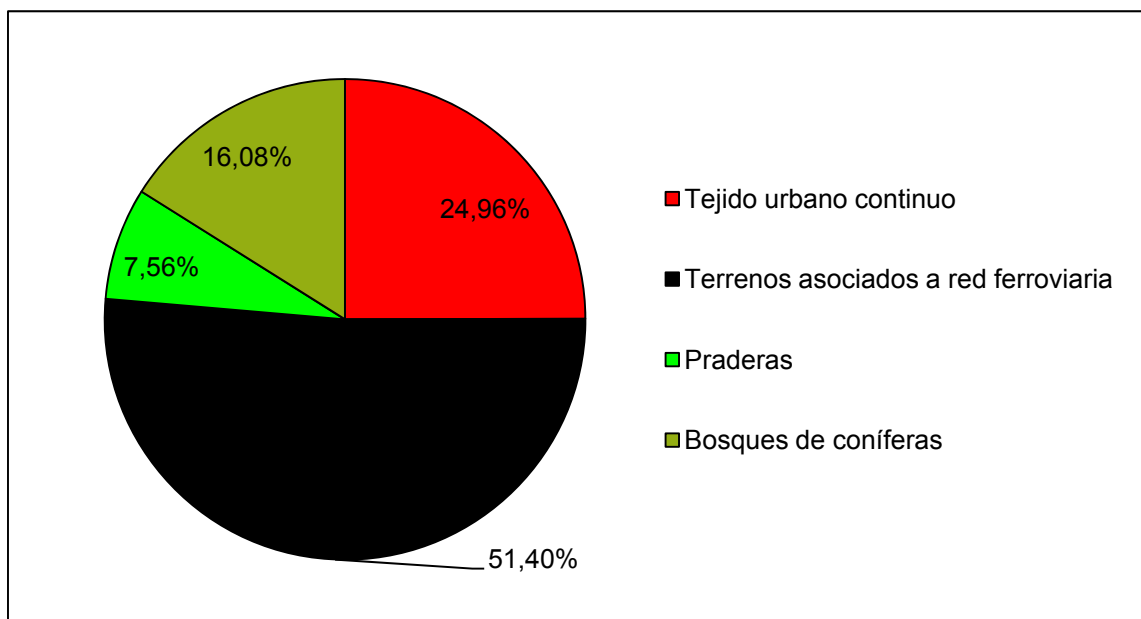


Figura 19. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Canfranc-Estación. (*Elaboración propia*).

Para terminar, el número de tipos de infraestructuras lineales expuestas es de 4: red de saneamiento, suministros de agua y de luz, e infraestructuras viarias (N-330). Esta variable en pocos casos varía entre niveles de peligrosidad. Para Canfranc-Estación permanece constante.

Así pues, el resumen de los valores otorgados a las variables de exposición en Canfranc-Estación para una peligrosidad muy baja es el que se recoge en la Tabla 25.

Tabla 25. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). (*Elaboración propia*).

PEX	CAC	USO	INF
4	5	5	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

De las 16,63 ha de suelo urbano totales de la localidad, 6,70 pertenecen a la zona inundable de peligrosidad baja. Por lo que de los 470 habitantes, están expuestos 189. Este valor se encuentra en el rango que otorga a la variable una puntuación de 3.

Tabla 26. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad baja en Canfranc-Estación. (*Elaboración propia*).

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

Como ya se ha comentado antes, la variable CAC permanece constante entre los diferentes niveles de peligrosidad de la localidad. El punto del núcleo urbano más cercano al cauce es el mismo (distancia 1,00 m y altura 2,50 m), por lo que también aquí $CAC=0,63$, correspondiente al valor 5.

El porcentaje de usos de suelo incompatibles aumenta ligeramente en esta zona inundable, alcanzando el 76,74%, (menos de un 0,5% de incremento), por lo que la variable se mantiene en el rango más alto obteniendo un valor de 5 (correspondiente a porcentajes superiores al 50%).

Concretamente, las hectáreas de urbano se reducen de 7,56 a 6,70; las de terrenos asociados a red ferroviaria, de 15,57 a 14,98; las de praderas, de 2,29 a 2,08; y las de bosques de coníferas, de 4,87 a 4,49.

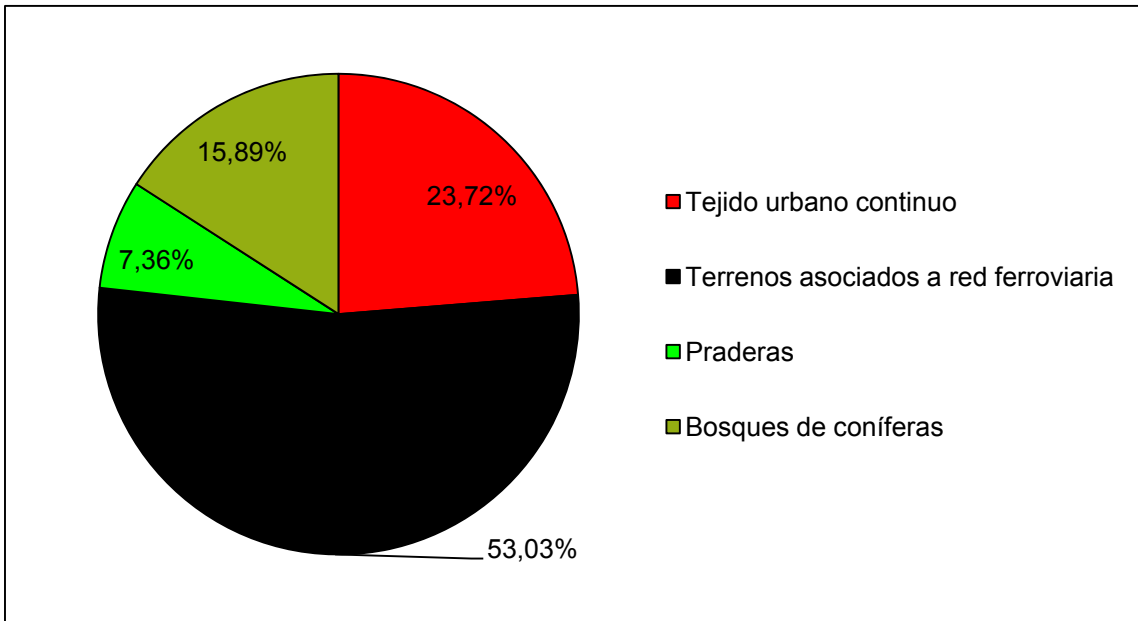


Figura 20. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

Por último, en cuanto a INF, tampoco se aprecian diferencias entre niveles de peligrosidad. Por tanto, el número de tipos de infraestructura lineales expuestas es también aquí 4, obteniendo el mismo valor para la variable.

En la Tabla 27 se resumen los valores otorgados a las variables de exposición en Canfranc-Estación para una peligrosidad baja.

Tabla 27. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
3	5	5	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

Las personas expuestas en esta zona inundable son 172, correspondientes a 6,10 ha de suelo urbano. Ya que el límite inferior del rango establecido es 100 personas, el valor para PEX en Canfranc-Estación se mantiene en 3.

Lo mismo sucede con CAC, permanente en el rango de valor 5, y con INF, pues tampoco en esta zona inundable se aprecian diferencias en la exposición de infraestructuras lineales, por lo que continúa presentando un valor de 4.

Por último, el porcentaje de usos de suelo incompatible aumenta levemente, pasando del 76,74% al 76,82%, pero estando ya en el máximo rango de exposición tampoco implica un cambio considerable en el riesgo.

Las hectáreas de suelo urbano se reducen de 6,70 a 6,10; las de los terrenos asociados a red ferroviaria, de 14,98 a 14,71; las de praderas, de 2,08 a 1,98; y las de bosques de coníferas, de 4,49 a 4,30.

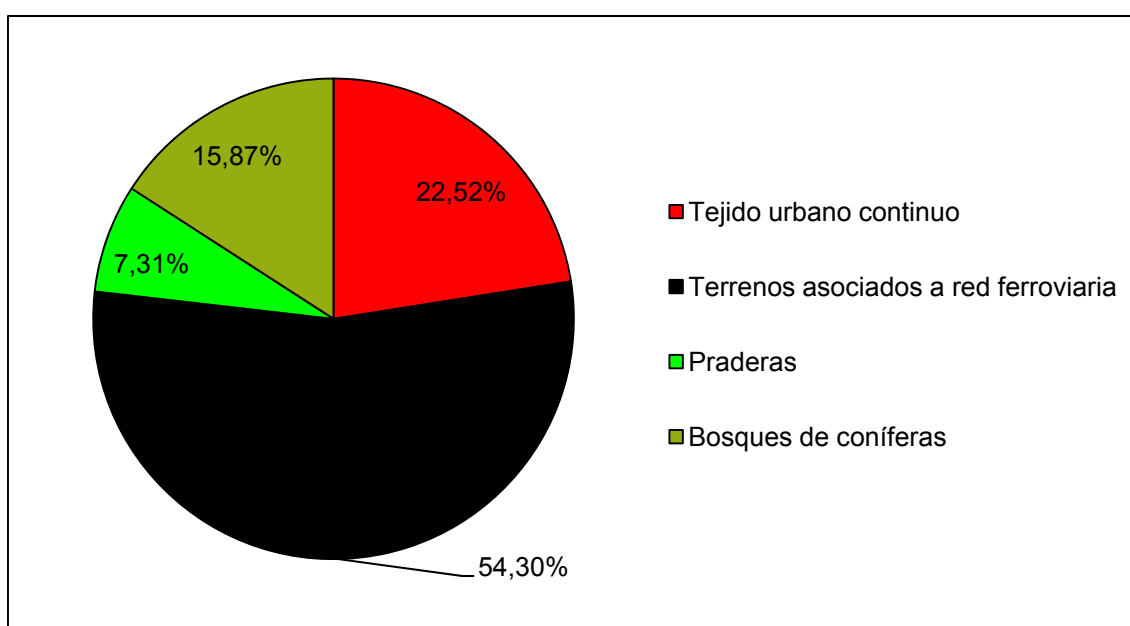


Figura 21. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Canfranc-Estación. (*Elaboración propia*).

Tabla 28. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). (*Elaboración propia*).

PEX	CAC	USO	INF
3	5	5	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).

La zona inundable para una peligrosidad muy alta abarca 3,17 ha de suelo urbano, lo que reduce el número de habitantes expuestos a 89. Esta cifra corresponde al rango de la variable PEX de valor 2.

Tabla 29. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy alta en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

CAC e INF no varían, por lo que siguen situándose en los rangos de valores 5 y 4 respectivamente.

El porcentaje de usos incompatibles ahora disminuye al 76,66%, dato sólo superior al que presentaba la zona inundable del nivel de peligrosidad muy baja (76,36%). Pese a este cambio, la variable USO se mantiene en el rango de valor 5 ($U_i > 50\%$).

La superficie de suelo urbano se reduce de 6,10 ha a 3,17; la de terrenos asociados a red ferroviaria, de 14,71 ha a 13,68; la de praderas, de 1,98 ha a 1,29, y la de bosques de coníferas de 4,30 a 3,84.

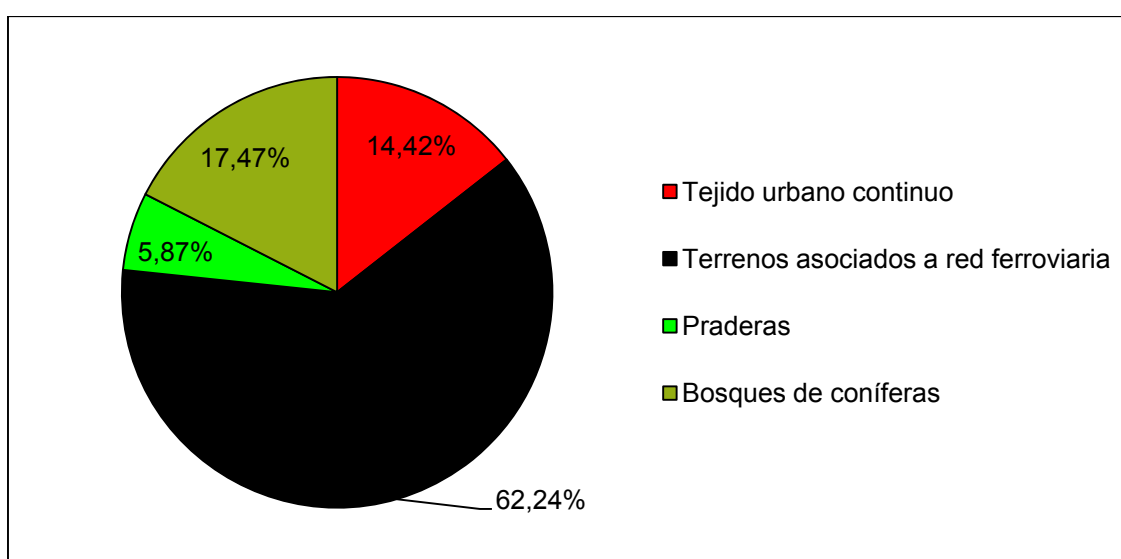


Figura 22. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

Tabla 30. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Estación para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
2	5	5	4

Como resumen de los resultados presentados hasta ahora de Canfranc-Estación, en la Tabla 31 se recogen los datos finales de las variables de cada nivel de peligrosidad y los correspondientes valores asignados.

Tabla 31. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Canfranc-Estación según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia).*

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	213	4
	CAC	0,63	5
	USO	76,36%	5
	INF	4	4
Peligrosidad baja T=100	PEX	189	3
	CAC	0,63	5
	USO	76,74%	5
	INF	4	4
Peligrosidad alta T=50	PEX	172	3
	CAC	0,63	5
	USO	76,82%	5
	INF	4	4
Peligrosidad muy alta T=10	PEX	89	2
	CAC	0,63	5
	USO	76,66%	5
	INF	4	4

- Variables de vulnerabilidad.

La cobertura de medios de control y evacuación, como se explicaba en el apartado 2.3. de este trabajo, está garantizada por el PLATEAR y es homogénea para todos los municipios aragoneses. Por eso, se ha decidido otorgar la misma valoración a todas las localidades de este estudio: un 1, pues los trabajos de control de los sistemas de alerta y la eficiente coordinación entre órganos implicados, junto a la buena estructura del PLATEAR, hacen que las actuaciones frente a emergencias por inundación en Aragón sean poco mejorables.

En Canfranc-Estación no existen obras de protección frente a inundaciones (motas), aunque sí frente a la erosión de las orillas. El tramo urbano situado más al norte, en la zona de la estación de ferrocarril, presenta una fuerte canalización con impermeabilización de cauce en graderío, obra de 1928. Aguas abajo, en la zona del cuartel de Guardia Civil, desaparece esta canalización para dar paso a un muro continuo en la margen derecha que protege de la erosión a calles y viviendas.



Figura 23. Canalización con graderío en la zona norte urbana de Canfranc-Estación. *(Foto propia).*

Figura 24. Muro en la margen derecha en el sur del núcleo urbano de Canfranc-Estación. *(Foto de Javier Garatachea).*



Canfranc-Estación es la única localidad de las estudiadas que no tiene una regulación de cuenca relevante aguas arriba. Sí cuenta con tres pequeños embalses, uno en el cauce principal (embalse del Aragón), de 0,002 hm³, y dos en afluentes: en el río Canal Roya y en el barranco de Izas, de 0,022 hm³ y 0,01 hm³, respectivamente.

Al ser sólo considerados los embalses con capacidad superior a 0,5 hm³, la superficie de cuenca regulada aguas arriba es nula, por lo que la variable adquiere un valor de 5 (vulnerabilidad muy alta).

Tabla 32. Rango y valor de la variable REG en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

En cuanto a actuaciones antrópicas con posibles efectos negativos (EFN), que tampoco van a ser valoradas, en Canfranc-Estación sólo hay dos tipos presentes, los ya comentados: la canalización y la impermeabilización de cauce. Ambas aparecen al norte de la estación de ferrocarril y, tras una longitud de unos 800 m, desaparecen poco antes de llegar a la parte sur del núcleo urbano (zona del cuartel).

La siguiente variable es TDR o tiempo de reacción, calculada mediante la fórmula de Kirpich, como se ha explicado en el apartado 2.3. Los resultados para Canfranc-Estación se recogen en la Tabla 33.

Tabla 33. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
2.093	1.155	938	10.752	0,087	63,31

Así pues, el tiempo de reacción en Canfranc-Estación es de poco más de una hora, por lo que siguiendo los rangos establecidos, a la variable le corresponde el valor 4.

Tabla 34. Rango y valor de la variable TDR en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Por lo que se refiere a sistemas de predicción disponibles, Canfranc-Estación sólo cuenta con un pluviómetro aguas arriba, en la estación de Candanchú, concretamente a unos 5 km. No existen otras estaciones meteorológicas ni aforos. Por esto, la variable PRD adquiere un valor de 2 (vulnerabilidad baja).

Tabla 35. Rango y valor de la variable PRD en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia).*

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

Entrando en las variables de vulnerabilidad en las que más implicados se encuentran los consistorios –PRV, EDU y PLU-, Canfranc-Estación y Canfranc-Pueblo comparten resultados, por ser el mismo municipio.

PRV hace referencia a la existencia y conocimiento de informes hidrológicos y planes de actuación. En Canfranc no existe un plan de actuación municipal, aunque sí comarcal (y, por encima, el PLATEAR); y la Confederación Hidrográfica del Ebro sí publica informes hidrológicos. Ninguno de ellos es conocido por el alcalde, aunque sabe de la existencia del plan comarcal. Esta situación hace que la variable tome un valor de 2.

Tabla 36. Rango y valor de la variable PRV en Canfranc. *(Elaboración propia)*.

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

Por otra parte, en el municipio no se lleva a cabo ningún tipo de actividad de educación en el riesgo de inundación, si bien desde el consistorio se afirma que la población tiene una gran concienciación sobre el riesgo por las numerosas crecidas históricas y recientes. Además están abiertos a la posibilidad de realizarlas en un futuro, pues ya se trabaja en temas de nieve y aludes.

Por ende, la variable EDU adopta el valor 4.

Tabla 37. Rango y valor de la variable EDU en Canfranc. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Para terminar, según palabras del alcalde, el riesgo de inundación sí aparece concretado en el planeamiento urbano, además de haberse realizado varios estudios de inundabilidad. Sin embargo, durante la visita no se pudo consultar el documento, y la versión disponible del mismo en la página web del ayuntamiento sólo hace alusiones a inundaciones y cursos de agua al matizar la regulación de camping, de actividades extractivas y de uso agropecuario y al implantar bandas de protección de suelo no urbanizable, como se detalla a continuación:

- Art.42.2. Regulación de uso de camping. Medidas de seguridad: “se justificará el emplazamiento en zona no inundable”.
- Art.44.2.2. Regulación de las actividades extractivas. Requisitos para concesión de la licencia municipal: “Respeto al paisaje; mantenimiento del arbolado; preservación del medio ambiente; no desviación, disminución o contaminación de las corrientes de agua superficiales o subterráneas”
- Art.45.b. Regulación del uso agropecuario. Categoría 2ª, instalaciones para explotaciones ganaderas y de guarda de animales. “Distancia de 100 m a cauces y captaciones”
- Art.203. Bandas de protección en el suelo no urbanizable: “ríos y arroyos: 10 m a la máxima avenida”; “en dichas bandas de protección no podrá realizarse ninguna obra de edificación, salvo permiso específico”.

Así, se considera que el riesgo de inundación no está tratado tan completamente como se debiera y, al no haber tampoco una referencia a riesgos naturales, el valor otorgado a la variable es 5.

Tabla 38. Rango y valor de la variable PLU en Canfranc. *(Elaboración propia).*

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

Con todo esto, se resumen los resultados obtenidos para la vulnerabilidad en Canfranc-Estación en la Tabla 39.

Tabla 39. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia)*.

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	5	4	2	2	4	5

- Los índices de riesgo de inundación.

Una vez valoradas todas las variables de la localidad, se puede proceder al cálculo de los índices de riesgo por niveles de peligrosidad. Cada índice consta de tres factores que se multiplican de forma ponderada: peligrosidad (P, 40%), exposición (E, 20%) y vulnerabilidad (V, 40%).

La peligrosidad adopta valores de 1 a 4, de muy baja a muy alta. Por su parte, la exposición y la vulnerabilidad son sumandos de los valores otorgados a sus variables.

Por tanto, se obtiene:

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(4+5+5+4)]*[0,4*(1+5+4+2+2+4+5)]= 13,25$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(3+5+5+4)]*[0,4*(1+5+4+2+2+4+5)]= 25,02$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(3+5+5+4)]*[0,4*(1+5+4+2+2+4+5)]= 37,54$$

- Peligrosidad muy alta (T=10 años)

$$IR=0,4*4*[0,2*(2+5+5+4)]*[0,4*(1+5+4+2+2+4+5)]= 47,10$$

Tabla 40. Índices de riesgo en Canfranc-Estación. *(Elaboración propia)*.

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
13,25	25,02	37,54	47,10

3.2.2. RÍO ARAGÓN: CANFRANC-PUEBLO

En las visitas de campo se establecieron tres puntos de observación en este núcleo urbano. En el Anexo XI, común a Canfranc-Estación, se recogen las observaciones realizadas en cada uno de los puntos, así como las imágenes de ubicación de los puntos de observación y las imágenes de las mediciones de distancia entre núcleo urbano y cauce.

Esta localidad también presenta cambio de rango en alguna de sus variables de exposición entre los diferentes niveles de peligrosidad. Los cuatro mapas de usos de suelo en sus zonas inundables se recogen en el Anexo XIII.

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

Canfranc-Pueblo cuenta con 84 habitantes y 3,30 ha de suelo urbano, valores muy inferiores a los de Canfranc-Estación (470 habitantes y 16,63 ha de urbano). La zona inundable de periodo de retorno 500 años incluye tan sólo 0,38 ha de suelo urbano. En esa superficie quedan representados 9 habitantes, por lo que el valor de la variable PEX es 1.

Conforme aumenta el nivel de peligrosidad, disminuye la superficie inundable y, por tanto, el número de personas expuestas. Por esto, la variable PEX en Canfranc-Pueblo va a presentar en todos los niveles de peligrosidad el valor 1.

Tabla 41. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

Por otro lado, el punto más cercano del núcleo poblacional al cauce es la iglesia y viviendas adyacentes, situada a 2 m de distancia y 4 m de altura. Estos datos hacen que el resultado de CAC sea 0,35, correspondiente al rango de valor 3. Cabe recordar que esta variable permanece siempre constante en los diferentes niveles de peligrosidad de una localidad, pues el punto más cercano al cauce no varía.

Tabla 42. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia)*.

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1



Figuras 25 y 26. Viviendas y paseo junto a la iglesia, punto más cercano al cauce.
(Fotos de Lucía Tarrafeta).

La zona inundable para una peligrosidad muy baja ($T=500$ años) en Canfranc-Pueblo tiene una extensión de 8,70 hectáreas, de las cuales 0,38 son urbanas, 5,33 de praderas y 2,99 de bosques mixtos.

Así, los usos incompatibles representan un 4,37% del total (ver Figura 27), valor muy inferior al que se daba en Canfranc-Estación (76,36%). Siguiendo los rangos establecidos en este trabajo, la variable USO adopta un valor de 1 (ver Tabla 43).

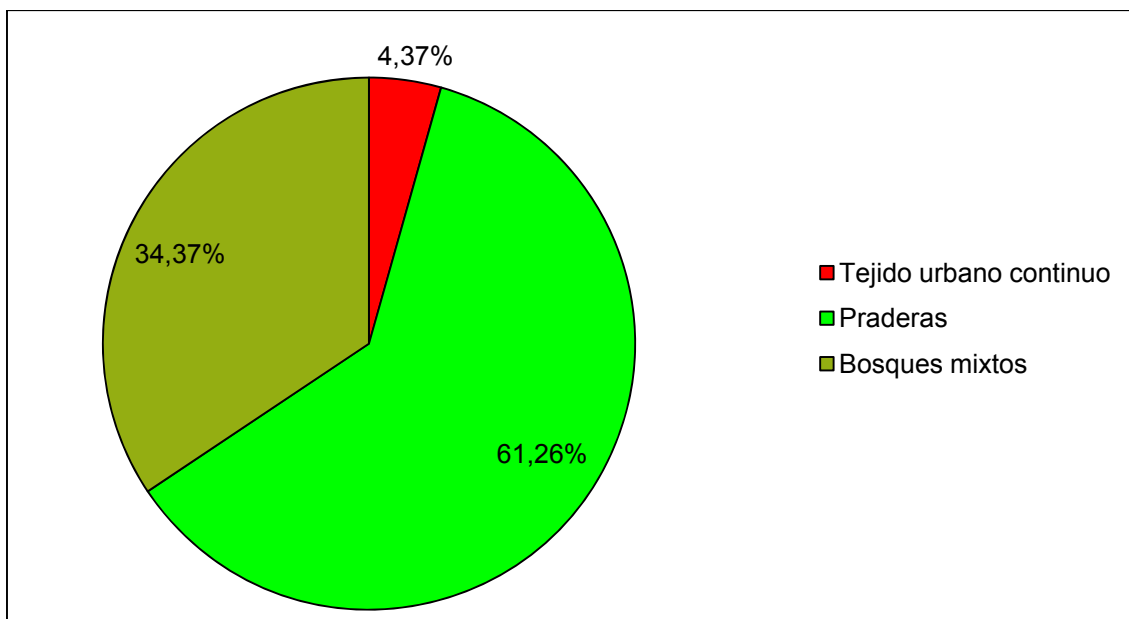


Figura 27. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Canfranc-Pueblo. (*Elaboración propia*).

Tabla 43. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Canfranc-Pueblo. (*Elaboración propia*).

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

Por último, en esta zona inundable están expuestos cuatro tipos de infraestructuras lineales: red de saneamiento, abastecimiento de agua y eléctrico, y viarias (N-330). Por tanto, al ser cuatro los tipos expuestos, a la variable INF se le otorga un valor de 4.

Tabla 44. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). (*Elaboración propia*).

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

Las hectáreas de suelo urbano inundables descienden aquí a 0,25, que conllevan una población expuesta de 6 personas, identificable nuevamente con el rango de valor 1 de la variable PEX (menos de 25 personas expuestas).

El porcentaje de usos incompatibles también desciende, presentando un valor de 3,42% con el que continua en el rango inferior (<20%), con una puntuación de 1.

La superficie de praderas pasa de 5,33 ha a 4,44, y la de bosques mixtos, de 2,99 ha a 2,62, aunque aumenta su porcentaje en un 1,47%.

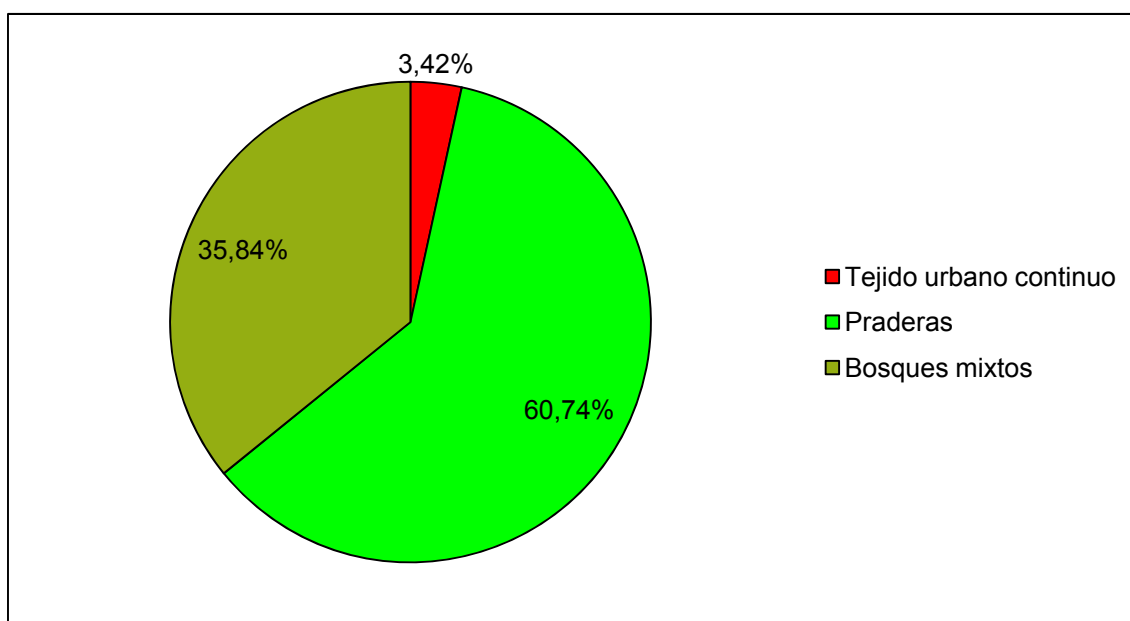


Figura 28. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Canfranc-Pueblo. (*Elaboración propia*).

Por su parte, CAC e INF no varían mínimamente, la primera por su carácter independiente del nivel de peligrosidad y la segunda por no apreciarse diferencias en las infraestructuras expuestas respecto a la zona inundable del nivel de peligrosidad anterior.

Así pues, los valores finales de las variables se repiten.

Tabla 45. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). (*Elaboración propia*).

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

Esta zona inundable abarca 0,21 ha del suelo urbano total, que implican 5 habitantes expuestos. PEX continua así en el rango de valor 1.

Tabla 46. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad alta en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia).*

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

CAC e INF continúan constantes, pues tampoco en este nivel de peligrosidad varían los tipos de infraestructuras lineales expuestas.

En cambio, USO sigue disminuyendo, resultando ahora 2,98% los usos incompatibles. El suelo urbano pasa de una extensión de 0,25 ha a 0,21; las praderas, de 4,44 ha a 4,34, aumentando su porcentaje en un 0,82%; y los bosques mixtos pasan de abarcar 2,62 ha a 2,50.

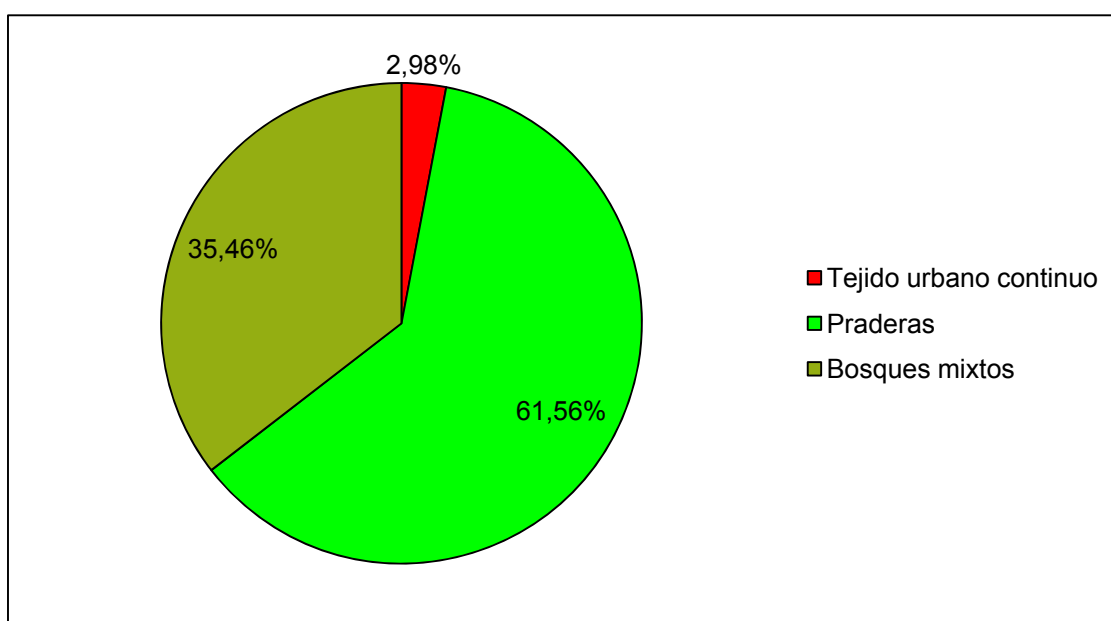


Figura 29. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia).*

En la Tabla 47 se resumen los valores otorgados aquí, que han resultado coincidentes con los de los niveles de peligrosidad anteriores (baja y muy baja).

Tabla 47. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). (*Elaboración propia*).

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).

De las 3,30 ha de suelo urbano totales, sólo 0,07 pertenecen a la zona inundable correspondiente a este nivel de peligrosidad. Por lo que de los 84 habitantes, sólo 1 estaría expuesto al riesgo de inundación. Este valor se encuentra dentro del rango que otorga a la variable una puntuación de 1, nuevamente (menos de 20 personas).

La relación entre cercanía del núcleo poblacional al cauce y diferencia de altura es constante, con un resultado obtenido de 0,35 que le otorga el valor 3. El mismo valor (3) presenta INF, pues aquí la N-330 ya no se ve afectada.

En cuanto a la variable USO, también mantiene su valor 1, aunque el resultado de porcentaje de usos incompatibles continúa disminuyendo, alcanzando aquí tan sólo el 1,25%. El tejido urbano continuo pasa de 0,21 ha en la zona inundable de peligrosidad alta a 0,07 ha en esta; las praderas, de 4,34 ha a 3,56, aumentando su porcentaje sobre el total en un 2,24%; y los bosques mixtos han pasado de 2,50 ha a 1,95.

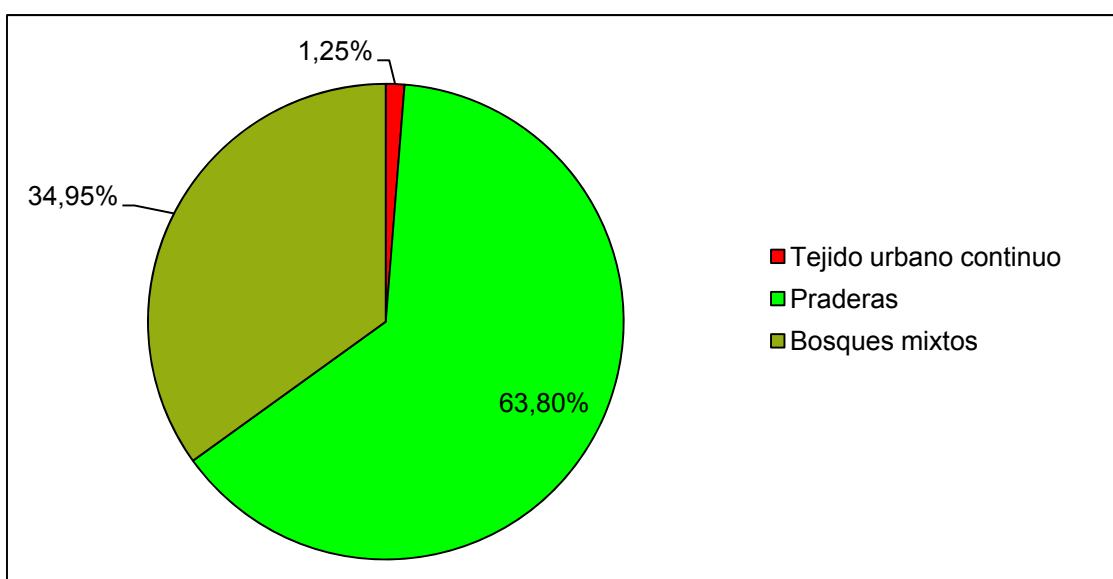


Figura 30. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Canfranc-Pueblo. (*Elaboración propia*).

Tabla 48. Valores de las variables de exposición en Canfranc-Pueblo para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	3

Como resumen de los resultados presentados hasta ahora de Canfranc-Pueblo, en la Tabla 49 se recogen los datos finales de las variables de cada nivel de peligrosidad y los correspondientes valores asignados.

Tabla 49. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Canfranc-Pueblo según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia).*

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	9	1
	CAC	0,35	3
	USO	4,37%	1
	INF	4	4
Peligrosidad baja T=100	PEX	6	1
	CAC	0,35	3
	USO	3,42%	1
	INF	4	4
Peligrosidad alta T=50	PEX	5	1
	CAC	0,35	3
	USO	2,98%	1
	INF	4	4
Peligrosidad muy alta T=10	PEX	1	1
	CAC	0,35	3
	USO	1,25%	1
	INF	3	3

- Variables de vulnerabilidad.

Como se ha comentado anteriormente, y en especial en el apartado 2.3. de este trabajo, la cobertura de medios de control y evacuación está garantizada por el PLATEAR y es homogénea para todos los municipios aragoneses. Por eso, se ha decidido otorgar la misma valoración a todas las localidades de este estudio: un 1.

Al igual que en Canfranc-Estación, no existen obras de protección frente a inundaciones, pero sí frente a la erosión de las orillas. En este caso se trata de dos escolleras continuas: una en la margen derecha, que protege el paseo, y otra en la margen izquierda, para proteger al sotobosque y a los campos de cultivo.



Figura 31. Tramo de escollera en la margen izquierda en Canfranc-Pueblo para la protección de campos de cultivo. *(Foto de Javier Garatachea).*

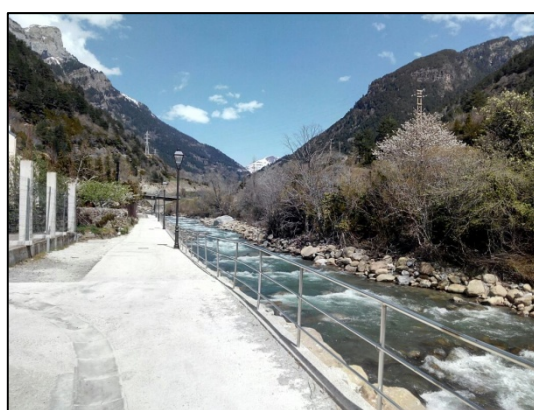


Figura 32. Escolleras en Canfranc-Pueblo para la protección del paseo y del sotobosque. *(Foto de Javier Garatachea).*



Figura 33. Escolleras en Canfranc-Pueblo para la protección del paseo y del sotobosque. *(Foto de Daniel Bellosta).*

Hasta Canfranc-Pueblo, el único embalse relevante es el embalse de Canfranc, situado inmediatamente aguas abajo del núcleo urbano de Canfranc-Estación. Tiene una capacidad de $0,5 \text{ hm}^3$ y regula una superficie de cuenca de $65,5 \text{ km}^2$. Desde dicho embalse hasta Canfranc-Pueblo, la cuenca vertiente abarca $27,86 \text{ km}^2$ (superficie no regulada). Además, en este tramo, también el barranco de Ip cuenta con un embalse. Tiene una capacidad de $5,00 \text{ hm}^3$ y regula una superficie de $8,00 \text{ km}^2$, lo que hace que la cuenca vertiente no regulada descienda a $19,86 \text{ km}^2$.

Por tanto, la superficie de cuenca regulada representa el 78,73%, lo que otorga a la variable REG un valor de 2.

Tabla 50. Rango y valor de la variable REG en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia)*.

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

Relativo a la variable EFN, los embalses son el único elemento que puede tener efectos negativos en Canfranc-Pueblo. No presenta impermeabilizaciones de cauce ni de cuenca, ni canalizaciones, ni estrechamientos de cauce.

Por otro lado, el tiempo de reacción en Canfranc-Pueblo ha resultado menor a una hora y media (concretamente 84,48 minutos), valor que se encuentra en el rango de valor 4. Los datos obtenidos para la fórmula de Kirpich se recogen en la Tabla 52.

Tabla 51. Rango y valor de la variable TDR en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia)*.

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Tabla 52. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia).*

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
2.093	1.056	1.037	14.273	0,073	84,48

En lo referido a sistemas de predicción disponible, Canfranc-Pueblo presenta una situación mejor que Canfranc-Estación, pues además del pluviométrico de Candanchú (a 9,2 km) cuenta con un aforo, aunque inmediatamente aguas arriba del núcleo urbano (100 m). Así, la variable PRD adquiere aquí un valor de 1.

Tabla 53. Rango y valor de la variable PRD en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia).*

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

Las restantes variables (PRV, EDU y PLU) son comunes a Canfranc-Estación por tratarse del mismo municipio. A modo de recordatorio, cabe destacar que:

- (1) existen planes de actuación e informes hidrológicos que no son conocidos por el alcalde (PRV=2);
- (2) no se realizan actividades de educación en el riesgo pero hay concienciación entre los habitantes (EDU=4);

- (3) el planeamiento urbano no profundiza en el riesgo de inundación ni en los riesgos naturales (PLU=5).

Con todo esto, se resumen los resultados obtenidos para la vulnerabilidad en Canfranc-Pueblo en la Tabla 54.

Tabla 54. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia).*

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	2	4	1	2	4	5

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(1+3+1+4)]*[0,4*(1+2+4+1+2+4+5)]= 5,47$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(1+3+1+4)]*[0,4*(1+2+4+1+2+4+5)]= 10,94$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(1+3+1+4)]*[0,4*(1+2+4+1+2+4+5)]= 16,42$$

- Peligrosidad muy alta (T=10 años)

$$IR=0,4*4*[0,2*(1+3+1+3)]*[0,4*(1+2+4+1+2+4+5)]= 19,46$$

Tabla 55. Índices de riesgo en Canfranc-Pueblo. *(Elaboración propia)*

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
5,47	10,94	16,42	19,46

3.2.3. RÍO ARAGÓN: VILLANÚA

3.2.3.1. Situación actual

Se han efectuado dos visitas al municipio. La primera el 13 de abril de 2015, en la que se efectuaron las observaciones de campo pertinentes desde diferentes puntos (cuatro observadores); y la segunda el 25 de junio de 2015, en la que se mantuvo la entrevista con el alcalde, D. Luis Terrén, (Anexo XIV) y se ampliaron las observaciones realizadas y la documentación fotográfica. En esta ocasión, el número de observadores se redujo a dos.

Se establecieron ocho puntos de observación. Las imágenes de su ubicación y de mediciones de distancia del núcleo urbano al cauce, así como las observaciones llevadas a cabo en cada punto, se recogen en el Anexo XV.

También Villanúa presenta diferencias significativas en alguna de sus variables de exposición entre niveles de peligrosidad, suficientes para provocar un cambio de rango. Los ocho mapas de usos de suelo en sus zonas inundables se recogen en el Anexo XVI (los cuatro actuales y los cuatro de 1956).

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

Los 475 habitantes de Villanúa se encuentran repartidos en 67,60 ha de suelo urbano. De esta superficie, 10,75 ha forman parte de la zona inundable correspondiente a una peligrosidad muy baja. Por tanto, el número de habitantes expuestos aquí es 75, lo que hace que la variable PEX tome el valor 2.

Tabla 56. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Villanúa. *(Elaboración propia).*

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

Existen dos puntos en el núcleo urbano considerados como los más próximos al cauce, con la misma distancia (3,00 m) y altura (3,00 m): el campo de fútbol, en la margen derecha, y la casa de información turística, en la margen izquierda. Con estos datos, el resultado de CAC es 0,33, que corresponde al rango de valor 3.

Tabla 57. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Villanúa. *(Elaboración propia).*

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1



Figura 34. Campo de fútbol, en la margen derecha. *(Foto de Javier Garatachea).*



Figura 35. Lateral de la casa de información turística, en la margen izquierda. *(Foto de Daniel Bellosta).*

La zona inundable de peligrosidad muy baja abarca 41,8 ha, de las cuales 10,75 son de tejido urbano. El resto corresponden a praderas (23,95 ha), bosques de frondosas (6,85 ha) y matorrales (0,25 ha). Por tanto, el porcentaje de usos incompatibles es 25,72%, correspondiente al rango de valor 2.

Tabla 58. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Villanúa. *(Elaboración propia).*

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

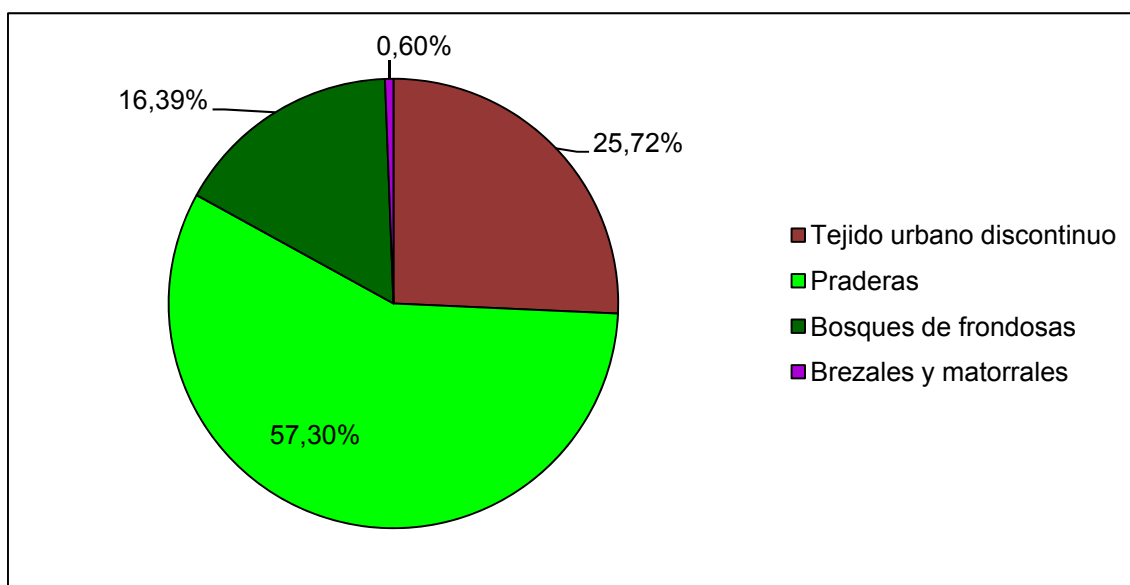


Figura 36. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Villanúa. *(Elaboración propia).*

Por último, existen tres tipos de infraestructuras lineales expuestas: suministros de agua y luz, y viarias (N-330). Así, la variable INF toma un valor de 3.

En la Tabla 59 se recogen los valores finales de las variables hasta aquí otorgados.

Tabla 59. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
2	3	2	3

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

El suelo urbano en esta zona inundable tiene una extensión de 8,65 ha, por lo que de los 475 habitantes sólo 60 están expuestos. Este dato hace que la variable PEX se mantenga en el rango de valor 2 (25-100 habitantes expuestos).

CAC e INF permanecen inalteradas, la primera por su carácter independiente del nivel de peligrosidad y la segunda por no apreciarse diferencias en las infraestructuras expuestas respecto a la zona inundable del nivel de peligrosidad anterior. Ambas presentan el valor 3.

Aunque los porcentajes de usos sí varían, tampoco lo hacen lo suficiente como para provocar un cambio de rango de la variable. El porcentaje de usos incompatibles es ahora del 24,22% (aún en el rango 20-30%, correspondiente al valor 2). El suelo urbano ha pasado de 10,75 ha a 8,65; las praderas, de 23,95 ha a 20,34; los bosques de frondosas, de 6,85 ha a 6,54 (aumentando su porcentaje en casi un 2%); y los matorrales, de 0,25 ha a 0,19.

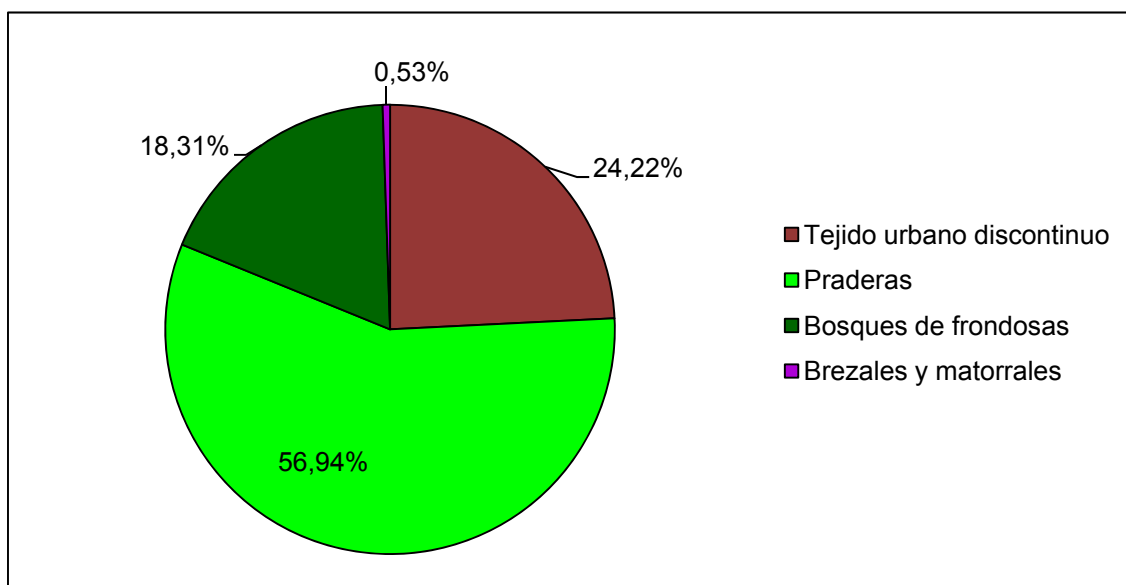


Figura 37. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Villanúa. *(Elaboración propia).*

Tabla 60. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). *(Elaboración propia)*.

PEX	CAC	USO	INF
2	3	2	3

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

Las hectáreas de suelo urbano en esta zona inundable descienden a 5,98, haciendo que el número de personas expuesta sea, por tanto, 42. Así, la variable PEX continua teniendo un valor de 2.

Tabla 61. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad alta en Villanúa. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

CAC mantiene siempre su valor en la localidad (0,33) y el número de tipos de infraestructuras lineales expuestas se reduce a dos, pues esta zona inundable ya no afecta a la N-330.

Por su parte, el porcentaje de usos incompatibles disminuye, situándose aquí en el 20,79%, correspondiente aún al rango de valor 2 (20-30%). El suelo urbano ha pasado de abarcar 8,65 ha en la zona inundable del anterior nivel de peligrosidad a 5,98 en esta; las praderas, de 20,34 ha a 16,33; los bosques de frondosas, de 6,54 ha a 6,31 (aumentando su porcentaje en un 3,63%); y los matorrales, de 0,19 ha a 0,14.

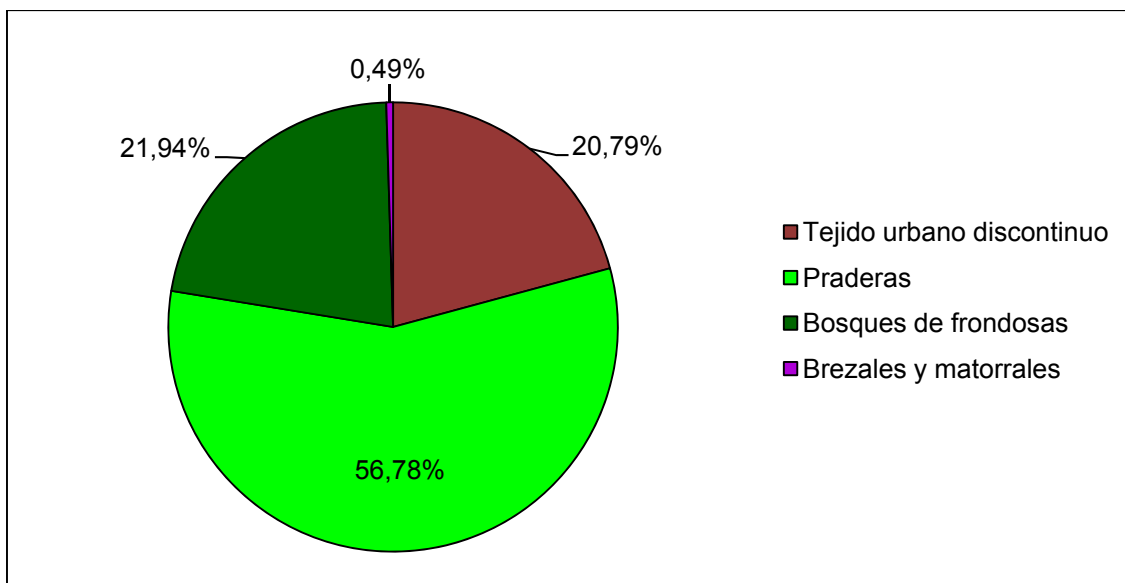


Figura 38. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Villanúa. *(Elaboración propia).*

El resumen de los valores finales para las variables de exposición de este nivel de peligrosidad se recoge en la Tabla 62.

Tabla 62. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
2	3	2	2

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).

De las 67,60 ha totales de suelo urbano en Villanúa, sólo 3,87 corresponden a la zona inundable de peligrosidad muy alta, lo que hace que 27 habitantes estén expuestos. Este resultado se corresponde aún con el rango de valor 2 de la variable PEX (25-100 personas expuestas).

El suelo urbano, único uso incompatible en la localidad, representa el 21,29% de las hectáreas totales de esta zona inundable, valor algo superior al correspondiente a la zona inundable de peligrosidad alta (20,79%). Esto se debe a la fuerte disminución de superficie de praderas, que ha pasado de ocupar 16,33 ha a 8,89. Además, la superficie de bosques de frondosas ha pasado de 6,31 ha a 5,32; y los matorrales, de

0,14 ha a 0,10; aunque estas categorías de uso también han visto aumentado su porcentaje sobre el total (un 7,32% y un 0,06%, respectivamente).

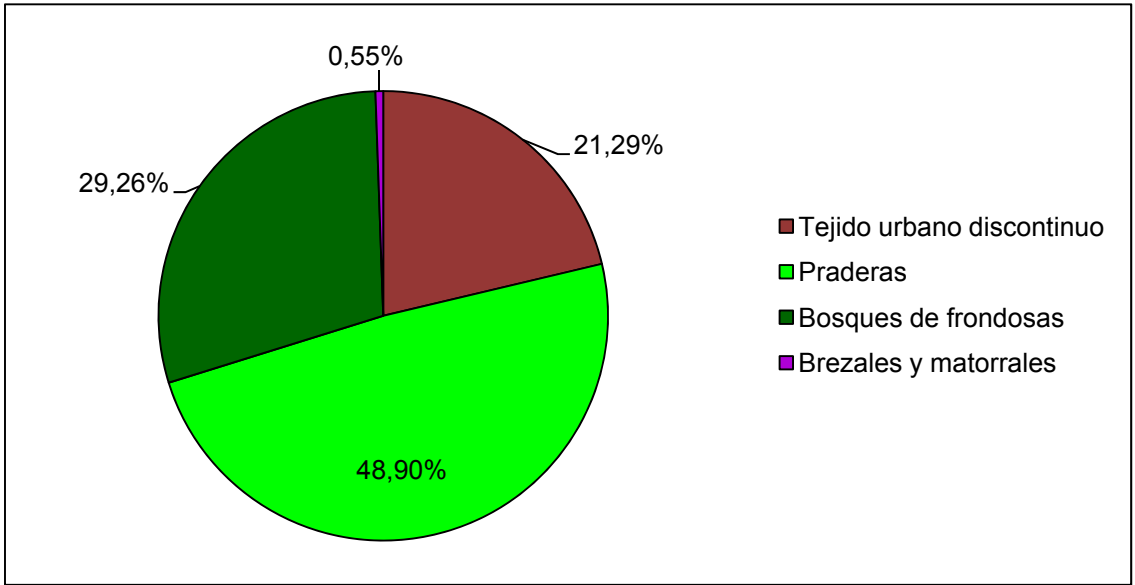


Figura 39. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Villanúa. *(Elaboración propia).*

Como en el nivel de peligrosidad anterior, existen dos tipos de infraestructuras lineales expuestas: suministros de agua y luz. Por tanto, la variable continúa situándose en el rango de valor 2. CAC también continúa presentando el valor 3, por su carácter independiente de la zona inundable.

En la Tabla 63 se presenta el resumen de los valores de las variables de exposición correspondientes al nivel de peligrosidad muy alta, y en la Tabla 64, el resumen de resultados obtenidos en cada variable de cada nivel de peligrosidad y los valores finales otorgados.

Tabla 63. Valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
2	3	2	2

Tabla 64. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Villanúa según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia).*

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	75	2
	CAC	0,33	3
	USO	25,72%	2
	INF	3	3
Peligrosidad baja T=100	PEX	60	2
	CAC	0,33	3
	USO	24,22%	2
	INF	3	3
Peligrosidad alta T=50	PEX	42	2
	CAC	0,33	3
	USO	20,79%	2
	INF	2	2
Peligrosidad muy alta T=10	PEX	27	2
	CAC	0,33	3
	USO	21,29%	2
	INF	2	2

- Variables de vulnerabilidad.

Como en todas las localidades estudiadas, el valor de la variable MCE adopta el rango de valor 1, pues el PLATEAR otorga una cobertura homogénea y eficaz de medios de control y evacuación.

En Villanúa, igual que en las dos localidades estudiadas anteriormente, Canfranc-Estación y Canfranc-Pueblo, no existen obras de defensa frente a inundaciones (diques y motas), pero sí frente a la erosión de las orillas. Concretamente existen varios tramos de escolleras: para proteger la casa de información turística, en la

margen izquierda; inmediatamente aguas debajo de esta, pasado el puente, para proteger unas viviendas en la margen derecha; y entre la pasarela peatonal y el puente nuevo, también en la margen derecha, para proteger el paseo junto al río.



Figura 40. Escollera en la margen derecha para la protección de viviendas.

(Foto de Daniel Bellosta).

Figura 41. Escollera en la margen izquierda para la protección de la casa de información turística.
(Foto de Daniel Bellosta).



Figura 42. Escollera en la margen derecha para la protección del paseo junto al río.

(Foto de Javier Garatachea).

En la entrevista realizada, el alcalde puso de manifiesto el conocimiento de la existencia de estas obras de defensa, puntualizando que el primer tramo, el de la casa de información turística, se vio afectado por la crecida de 2012, teniendo que ser reparado de urgencia.

En cuanto a la regulación de cuenca, la situación en Villanúa es la misma de Canfranc-Pueblo. Los embalses a tener en cuenta son el de Canfranc y el de Ip, que regulan, respectivamente, 65,5 y 8,0 km². Aunque no relevante, inmediatamente aguas arriba del núcleo urbano de Villanúa existe otro embalse de 0,022 hm³, llamado “Jaca” por

llevar el agua entubada desde Villanúa hasta dicha localidad. En total, la superficie de cuenca no regulada medida hasta Villanúa asciende a 58,22 km², por lo que el porcentaje final de regulación es 55,80%, correspondiente al rango de valor 3.

Tabla 65. Rango y valor de la variable REG en Villanúa. *(Elaboración propia)*.

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

Estos embalses, junto al estrechamiento de cauce que sufre el río Aragón a su paso por el núcleo urbano, constituyen los únicos elementos que pueden tener efectos negativos en Villanúa. No existen canalizaciones ni impermeabilizaciones.

Por otro lado, el tiempo de reacción en Villanúa es, aproximadamente, 1h50min (111,24 min), valor que se encuentra en el rango de valor 3. Los datos obtenidos para la fórmula de Kirpich se recogen en la Tabla 67.

Tabla 66. Rango y valor de la variable TDR en Villanúa. *(Elaboración propia)*.

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Tabla 67. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Villanúa. *(Elaboración propia)*.

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
2.093	949	1.144	18.716	0,061	111,24

En lo referido a sistemas de predicción disponible, Villanúa no presenta novedades respecto a los sistemas disponibles en Canfranc-Pueblo. Por tanto, se dispone del pluviométrico de Candanchú, a 13,50 km, y del aforo de Canfranc-Pueblo, situado a 4,40 km. Así, la variable PRD presenta, como en Canfranc-Pueblo, un valor de 1.

Tabla 68. Rango y valor de la variable PRD en Villanúa. *(Elaboración propia).*

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

Entrando ya en las variables de vulnerabilidad en que más implicados se ven los consistorios, cabe destacar que el alcalde no es conocedor de los planes de actuación (ni del comarcal ni del PLATEAR) ni de los informes hidrológicos elaborados por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Esta situación hace que, como en Canfranc, la variable PRV adopte un valor de 2.

Tabla 69. Rango y valor de la variable PRV en Villanúa. *(Elaboración propia).*

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

Igualmente, es importante resaltar que en este municipio no se lleva a cabo ningún tipo de actividad educativa relativa al riesgo de inundación, por no contemplarse el riesgo en sí propio. Esta perspectiva otorga a la variable EDU el máximo nivel de vulnerabilidad.

Tabla 70. Rango y valor de la variable EDU en Villanúa. *(Elaboración propia).*

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Por último, en la entrevista el alcalde aseguró que el Plan General de Ordenación Urbana contemplaba el riesgo de inundación como tal, además de incluir la cartografía urbana con la respectiva “línea de 500 años”. Al analizar el documento sólo se encontraron leves referencias a “servidumbres para la protección del dominio público” y “problemas de índole hidrológica o cualquier otro riesgo natural”, sin más detalles, como se puede leer en el siguiente fragmento extraído del artículo 5.2.1.:

“El suelo no urbanizable especial está constituido por los terrenos sometidos a algún régimen especial de protección incompatible con su transformación, de acuerdo con las Directrices de Ordenación Territorial, los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales o la legislación sectorial, en razón de sus valores paisajísticos, ambientales o culturales o en función de su sujeción a limitaciones o servidumbres para la protección del dominio público, y por aquellos que, en razón de sus características, presentan graves y justificados problemas de índole geotécnica, morfológica o hidrológica o cualquier otro riesgo natural.”

Así pues, siguiendo los rangos establecidos y una vez corroborada la existencia de cartografía, la variable PLU en Villanúa adquiere el valor 2 (ver Tabla 71).

Tabla 71. Rango y valor de la variable PLU en Villanúa. *(Elaboración propia)*.

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

De cualquier forma, cabe mencionar que, en la práctica, la obediencia a la citada línea de máxima avenida resulta más que discutible.

Tabla 72. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Villanúa. *(Elaboración propia)*.

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	3	3	1	2	5	2

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(2+3+2+3)]*[0,4*(1+3+3+1+2+5+2)]= 5,44$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(2+3+2+3)]*[0,4*(1+3+3+1+2+5+2)]= 10,88$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(2+3+2+2)]*[0,4*(1+3+3+1+2+5+2)]= 14,69$$

- Peligrosidad muy alta (T=10 años)

$$IR=0,4*4*[0,2*(2+3+2+2)]*[0,4*(1+3+3+1+2+5+2)]= 19,58$$

Tabla 73. Índices de riesgo en Villanúa. *(Elaboración propia)*.

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
5,44	10,88	14,69	19,58

3.2.3.2. Situación del año 1956

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

El censo de población de 1950 en Villanúa era de 514, y el de 1960, de 436 (*IAEST, 2015*). La superficie urbana ocupaba 3,36 ha, y no llegaba a incluirse en ninguna zona inundable, por lo que tampoco había habitantes expuestos. Así, la variable PEX adquiriría el valor 0, dos puntos menos que en la actualidad (75 de los 475 habitantes están expuestos).

El punto más cercano del núcleo urbano al cauce eran las viviendas junto a la carretera a Canfranc, en la margen derecha del río, a unos 130,00 m de distancia y unos 10,00 m de altura (estimado a partir de la situación actual). Por tanto, CAC resultaría 0,03, dato que sitúa a la variable en el rango de valor 1, también dos puntos inferior a la actualidad, donde el punto más cercano se encuentra a 3,00 m de distancia y de altura al cauce.

Tabla 74. Rango y valor de la variable CAC en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1

Esta zona inundable abarca 39,14 ha y en ella no existe ningún uso incompatible, por lo que la variable USO tomaría el valor 0. Una vez más, la diferencia de valor respecto a la actualidad son dos puntos, pues los usos incompatibles representan ahora el 25,72% del total de la zona inundable (rango del 20 al 30%).

En 1956, las categorías de usos de suelo mayoritarias en la zona inundable de peligrosidad muy baja eran el mosaico de cultivos y los arenales (graveras), con una superficie de más del 30% del total cada una. En el otro extremo, las zonas de secano constituían la categoría minoritaria en esta zona inundable (0,23%).

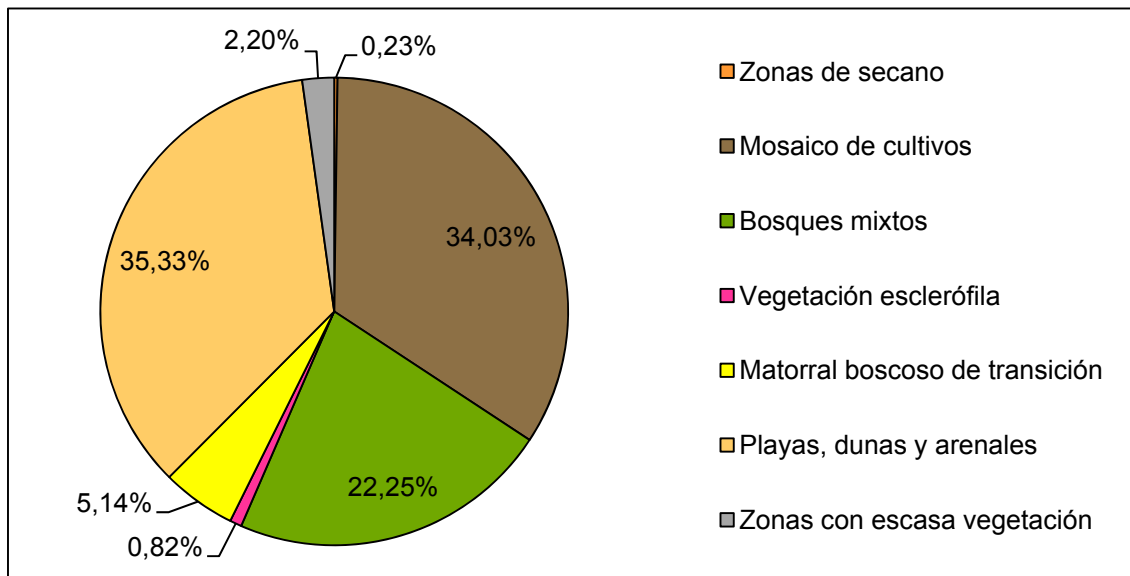


Figura 43. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Villanúa en el año 1956. *(Elaboración propia)*.

Por último, la única infraestructura lineal expuesta sería la carretera a Canfranc (actual N-330), en un tramo al sur del núcleo urbano, por lo que la variable INF adquiriría el valor 1 (también dos puntos menos que actualmente).

En la Tabla 75 se resumen los valores otorgados a las variables de este nivel de peligrosidad para 1956 y para la actualidad.

Tabla 75. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) entre 1956 y la actualidad. *(Elaboración propia)*.

	PEX	CAC	USO	INF
Actualidad	2	3	2	3
1956	0	1	0	1

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

Ninguna de las variables cambia de rango respecto al nivel de peligrosidad anterior, como sucede también con la situación actual. En la situación de 1956, esta ausencia de cambios se debe en PEX por no haber habitantes expuestos en ningún nivel de peligrosidad, en CAC por su carácter independiente del nivel de peligrosidad, en USO porque sólo existen usos compatibles en todas las zonas inundables, y en INF porque la carretera a Canfranc sigue expuesta en el mismo tramo.

Tampoco la representatividad de cada una de las categorías de usos de suelo varía mucho. La zona inundable se reduce aquí a 33,33 ha y se mantienen como mayoritarias el mosaico de cultivos y las graveras, aún con más del 30% cada una, y las zonas de secano como minoritaria (0,18%).

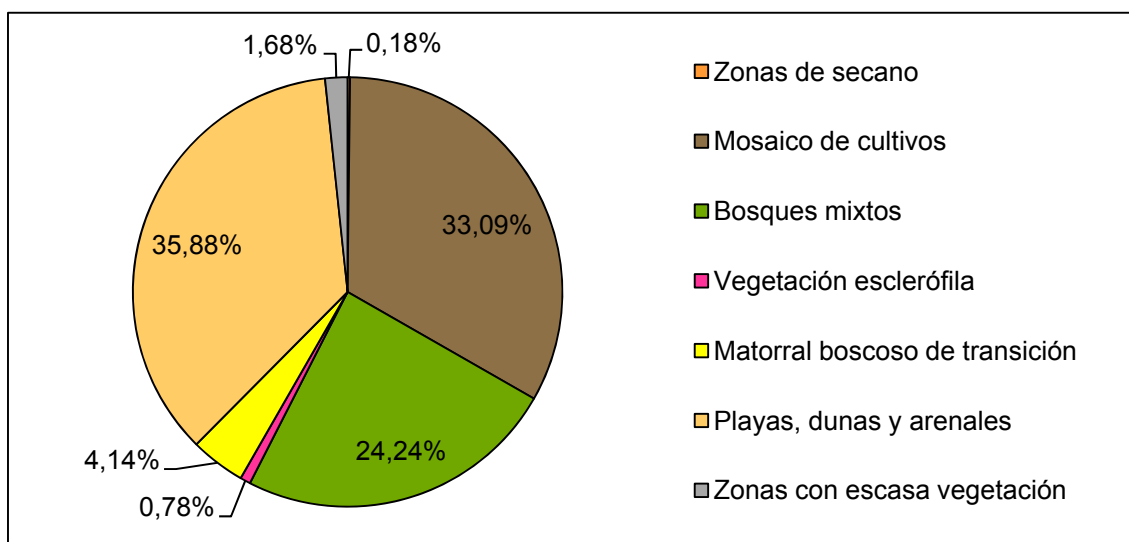


Figura 44. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Villanúa en el año 1956. *(Elaboración propia).*

Así, los valores finales otorgados a las variables de exposición son idénticos a los del nivel de peligrosidad anterior (peligrosidad muy baja), tanto en la situación actual como en la de 1956.

Tabla 76. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) entre 1956 y la actualidad. *(Elaboración propia).*

	PEX	CAC	USO	INF
Actualidad	2	3	2	3
1956	0	1	0	1

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

En este nivel de peligrosidad, tanto en la situación actual como en la de 1956 se da un cambio: la variable INF se reduce un punto, por no verse afectada la carretera a Canfranc (N-330). Así, en 1956 pasaría a adquirir el valor 0.

Esta zona inundable ocupa 26,58 ha, y se mantienen las mismas categorías mayoritarias (mosaico de cultivos y arenasles (graveras)) y la minoritaria (zonas de secano). Además, desaparece la categoría de zonas con escasa vegetación.

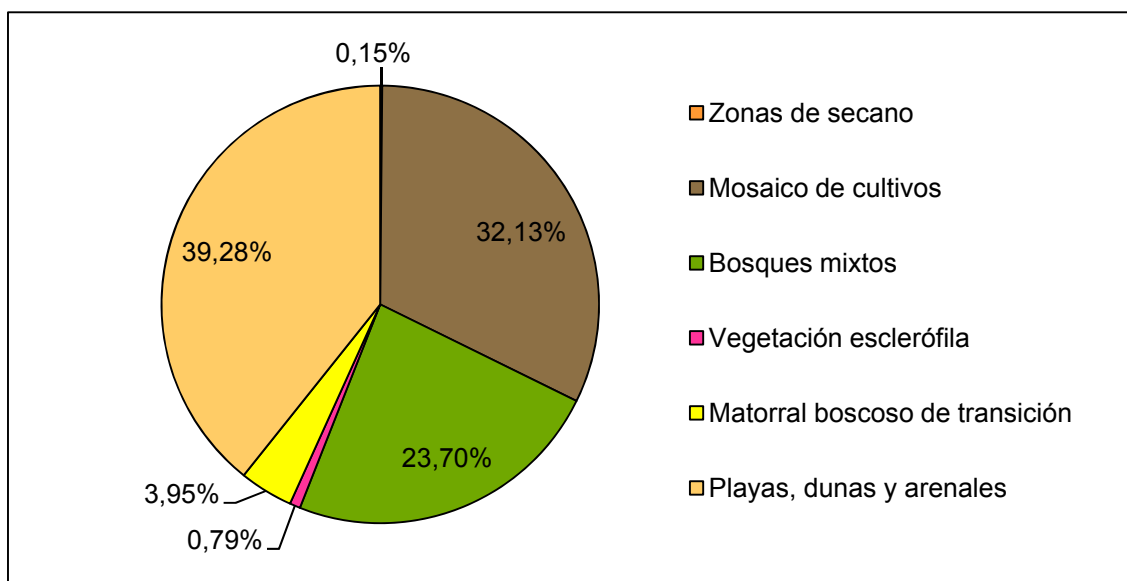


Figura 45. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Villanúa en el año 1956. *(Elaboración propia).*

Tabla 77. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) entre 1956 y la actualidad. *(Elaboración propia).*

	PEX	CAC	USO	INF
Actualidad	2	3	2	2
1956	0	1	0	0

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).

La zona inundable de este nivel de peligrosidad no conlleva cambios respecto al nivel de peligrosidad anterior, ni para la situación de 1956 ni para la actual.

En cuanto a las categorías de usos de suelo, en esta zona inundable predominan las graveras, constituyendo casi la mitad de la zona inundable (el 46,77% de las 16,72 ha totales). Por su parte, las zonas de secano continúan siendo la categoría minoritaria (0,06%).

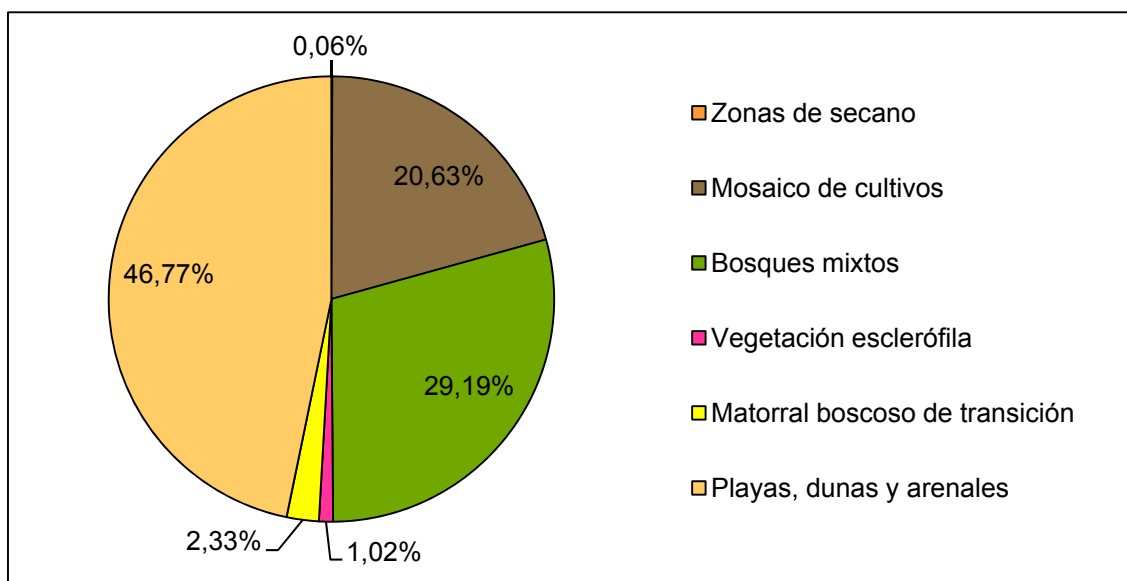


Figura 46. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Villanúa en el año 1956. *(Elaboración propia)*.

Tabla 78. Comparativa de los valores de las variables de exposición en Villanúa para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) entre 1956 y la actualidad. *(Elaboración propia)*.

	PEX	CAC	USO	INF
Actualidad	2	3	2	2
1956	0	1	0	0

Tabla 79. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Villanúa según niveles de peligrosidad y valores otorgados, en la situación actual y en la de 1956. *(Elaboración propia)*.

	Situación actual			Situación 1956		
Peligrosidad muy baja T=500	PEX	75	2	PEX	0	0
	CAC	0,33	3	CAC	0,03	1
	USO	25,72%	2	USO	0,00%	0
	INF	3	3	INF	1	1
Peligrosidad baja T=100	PEX	60	2	PEX	0	0
	CAC	0,33	3	CAC	0,03	1
	USO	24,22%	2	USO	0,00%	0
	INF	3	3	INF	1	1
Peligrosidad alta T=50	PEX	42	2	PEX	0	0
	CAC	0,33	3	CAC	0,03	1
	USO	20,79%	2	USO	0,00%	0
	INF	2	2	INF	0	0
Peligrosidad muy alta T=10	PEX	27	2	PEX	0	0
	CAC	0,33	3	CAC	0,03	1
	USO	21,29%	2	USO	0,00%	0
	INF	2	2	INF	0	0

- Variables de vulnerabilidad.

El análisis de estas variables para el año 1956 se ha basado en la información recibida en el consistorio y en datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Cabe destacar que, pese a que los valores que se han otorgado son altos, la consciencia sobre el riesgo era mayor en esa época, la cual se deja ver en la urbanización alejada del río y los usos compatibles de las zonas inundables.

Para comenzar, se considera que en dicho año no existían medios de control y evacuación, entendidos como un inventario consolidado de los mismos o una estructura organizativa que diese acceso a los mismos.

Tabla 80. Rango y valor de la variable MCE en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

MCE	No existen	5
	No se conocen y no son suficientes	4
	Se conocen pero no son suficientes	3
	No se conocen pero son suficientes	2
	Se conocen y son suficientes	1

No existían obras de protección ni elementos con posibles efectos negativos aguas abajo. La pequeña central hidroeléctrica inmediatamente aguas arriba del núcleo urbano, “embalse de Jaca”, fue construida en 1967, como el de Canal Roya y el del Aragón; el embalse de Canfranc un año más tarde; y el del ibón de Ip en 1974.

Así, en 1956 no existía ningún embalse que regulase la cuenca, por lo que la variable REG adquiriría el valor 5.

Tabla 81. Rango y valor de la variable REG en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

El tiempo de reacción, calculado mediante la fórmula de Kirpich, resulta idéntico en la situación actual y en la de 1956, por considerar que los datos se mantienen (ver Tabla 67). Es de aproximadamente 1h50min (111,24 min), valor que se encuentra en el rango de valor 3 (ver Tabla 66).

En lo referido a sistemas de predicción disponible, no existían aforos ni estaciones meteorológicas. El actual aforo en Canfranc-Pueblo es del año 1991, y antes existieron otros en Canfranc-Estación y Canal Roya, actualmente dados de baja, obra de 1971 y 1976, respectivamente. El pluviométrico de Candanchú tampoco existía, aunque no se ha podido averiguar el año exacto de su implantación.

Así, la variable PRD adquiere el valor 5.

Tabla 82. Rango y valor de la variable PRD en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

En ese momento, no existían informes hidrológicos ni planes de actuación, por lo que la variable PRV se situaría en el rango de valor 5.

Tabla 83. Rango y valor de la variable PRV en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

Por otro lado, no se considera que se realizasen actividades de educación en el riesgo, aunque probablemente había concienciación general y esa educación se llevaba a cabo en los hogares.

Tabla 84. Rango y valor de la variable EDU en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Por último, tampoco existía Plan General de Ordenación Urbana y no se han encontrado referencias a normas de planeamiento urbano, por lo que la variable PLU también adoptaría el valor 5.

Tabla 85. Rango y valor de la variable PLU en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

Con todo esto, en la Tabla 86 se resumen los resultados obtenidos para la vulnerabilidad de 1956 y los de la actual.

Tabla 86. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Villanúa en 1956 y en la actualidad. *(Elaboración propia)*.

	MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
Actualidad	1	3	3	1	2	5	2
1956	5	5	3	5	5	4	5

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad para la situación del año 1956. En la Tabla 87 se exponen los valores de los índices actuales y de los de 1956.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(0+1+0+1)]*[0,4*(5+5+3+5+5+4+5)]= 2,05$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(0+1+0+1)]*[0,4*(5+5+3+5+5+4+5)]= 4,10$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(0+1+0+0)]*[0,4*(5+5+3+5+5+4+5)]= 3,07$$

- Peligrosidad muy alta (T=10 años)

$$IR=0,4*4*[0,2*(0+1+0+0)]*[0,4*(5+5+3+5+5+4+5)]= 4,10$$

Tabla 87. Índices de riesgo en Villanúa en 1956. *(Elaboración propia)*.

	IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
Actualidad	5,44	10,88	14,69	19,58
1956	2,05	4,10	3,07	4,10

3.2.4. RÍO ARAGÓN: CASTIELLO DE JACA

También en Castiello de Jaca se han efectuado dos visitas en las mismas fechas, el 13 de abril de 2015 y el 25 de junio de 2015. En este caso, ambas visitas se dedicaron exclusivamente a efectuar observaciones de campo, pues el alcalde, D. Álvaro Salesa, no se encontraba disponible. Finalmente, la entrevista se realizó mediante e-mail (Anexo XVII). Como en Canfranc, en la primera visita hubo cuatro observadores y en la segunda dos.

Se establecieron cinco puntos de observación sobre el cauce del río Aragón, y siete adicionales sobre uno de los barrancos que atraviesan el núcleo urbano: el barranco Casadioses, en la parte central del entramado urbano. Su posición y las obras realizadas en él hacen que su análisis también resulte de interés, por lo que se va a llevar a cabo en primer lugar, antes de comenzar con el análisis de las variables del índice de riesgo. Las imágenes de ubicación de los puntos de observación y de mediciones de distancia del núcleo urbano al cauce del Aragón, así como las observaciones llevadas a cabo en cada punto, se recogen en el Anexo XVIII.

Castiello de Jaca es una de las localidades que no presenta diferencias significativas en sus variables de exposición según el nivel de peligrosidad suficientes para provocar un cambio de rango. Por eso, los valores finales otorgados a las variables resultan idénticos en cada nivel de peligrosidad. Los cuatro mapas de usos de suelo en sus zonas inundables aparecen en el Anexo XIX.

- Barranco Casadioses

Por el núcleo urbano transcurren tres barrancos, Redigüé, La Englata y Casadioses. Este último circula por el centro de la localidad, impermeabilizado y canalizado, concretamente paralelo a la calle Santiago, hasta desembocar en el río Aragón.

En la primera visita se le prestó especial atención, pues desde uno de los puntos de observación del río Aragón se apreció la gran exposición de las viviendas a dicho barranco.

En su desembocadura, las puertas y ventanas traseras de las viviendas de la margen derecha se encuentran en el mismo cauce del barranco, como se puede ver en la Figura 47. En la margen izquierda, la distancia a viviendas es de 3,00 m y la altura sobre el cauce 1,50 m. Aquí, la impermeabilización del cauce está realizada con soleras de piedra.



Figura 47. Viviendas en la desembocadura del barranco Casadioses.
(Foto de Javier Garatachea).

Inmediatamente aguas arriba de estas viviendas aparecen tres puentes que dan soporte a entramado urbano y a la N-330.

El lecho impermeabilizado del tramo junto a la desembocadura es diferente al que aparece aguas arriba de la N-330, pasando a ser un leve graderío de 2,50 m de anchura con pequeños muros laterales (altura menor a 1,00 m) y hormigonado en el cauce. En esta zona llama la atención la existencia de unos bancos a 1,50 m del cauce, un parque infantil a escasos 3,00 m y un recinto de gas a 0,50 m.



Figuras 48 y 49. Graderío leve y pequeño muro junto a recinto de gas, parque infantil y banco. Barranco Casadioses. (Fotos de Javier Garatachea y Beatriz Gimeno).

Aguas arriba de este tramo, tras el puente que aparece al fondo de la Figura 48, el cauce se ensancha hasta los 5,00 m y desaparece el graderío, aunque continúa hormigonado. Pocos metros aguas arriba, bajo otro puente junto al que ya existen viviendas próximas, el lecho del barranco comienza a presentar escalonamientos (concretamente dos escalones de 0,50 y 2,00 m).

El siguiente tramo destaca por el acondicionamiento de zonas verdes realizado junto al barranco. Las defensas de las orillas se hacen más fuertes, presentando altos muros en la margen izquierda que protegen a la Calle Santiago y fuertes escolleras en la margen derecha, que protegen a la zona verde (con mesas, bancos y papeleras). El cauce, hormigonado, vuelve a estrecharse a 3,00 m. La línea de alumbrado transcurre por la margen izquierda junto al borde del barranco.



Figuras 50 y 51. Tramo junto a zona verde. Barranco Casadioses. *(Foto de Javier Garatachea).*

Aguas arriba, aún con la misma anchura de cauce, reaparece el escalonamiento, igual al anterior (dos saltos, de 0,50 m y 2,00 m). Al final de este tramo el cauce está entubado (0,60 m de diámetro), con origen en el lavadero (tejado triangular de madera en la Figura 52).



Figura 52. Tramo escalonado con entubamiento al fondo. Barranco Casadioses. *(Foto de Javier Garatachea).*

Este es el último tramo en el que se apreció flujo superficial de agua. Aguas arriba, el cauce del barranco aparece naturalizado (aunque con algunos diques en el cauce) pero completamente seco, mientras que una zona cementada de unos 10,00 m de longitud deja entrever la existencia de un tubo mayor enterrado.

Las laderas de la margen izquierda también han sufrido actuaciones. Se encuentran desnudas o con inicios de revegetación, escalonadas y con fuertes escolleras.



Figuras 53 y 54. Tramo naturalizado pero con diques en el cauce y laderas actuadas.

Barranco Casadioses. (Fotos de Javier Garatachea y Beatriz Gimeno).

En la entrevista, el alcalde hizo constar que las obras de “integración del barranco en la trama urbana” se están llevando a cabo desde el año 2007, aproximadamente, con subvenciones de la Diputación Provincial de Huesca y autorización de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Además, asegura que el barranco se encuentra expédito, en condiciones para soportar las crecidas venideras y evacuar el agua.

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

Castiello de Jaca cuenta con 202 habitantes y 17,88 ha de suelo urbano. De esta superficie, sólo 1,19 ha están incluidas en la zona inundable de menor peligrosidad (T=500 años). Así pues, los habitantes expuestos a una peligrosidad muy baja son 13, dato que corresponde al rango de valor 1.

Tabla 88. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Castiello de Jaca. (Elaboración propia).

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

A fecha de noviembre de 2015, el punto más cercano del núcleo poblacional al cauce del río Aragón es la urbanización Dos Valles, situada a 5,00 m de distancia y 2,50 m de altura. Estos datos hacen que el resultado de CAC sea 0,28, correspondiente al rango de valor 3.

Tabla 89. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia).*

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1

Cabe destacar también la proximidad de la urbanización El Molino, asentada sobre el cauce secundario del río Aragón. En octubre de 2012 tuvo lugar una fuerte crecida natural que llevó al río a ocupar ese cauce secundario, provocando la demolición de una de las viviendas y afectando a varias de las restantes. Tras este suceso, la Confederación Hidrográfica del Ebro llevó a cabo obras para reconducir el río al cauce principal. A fecha de noviembre de 2015, la distancia entre la urbanización y el cauce es de 28,00 m.



Figura 55. Urbanización Dos Valles en Castiello de Jaca. *(Foto de Javier Garatachea).*

Figura 56. Afecciones en la urbanización El Molino tras la crecida de octubre de 2012 y obras de reconducción en el cauce principal. *(Foto de Alfredo Ollero).*



La zona inundable correspondiente a una peligrosidad muy baja abarca 25,59 ha, de las cuales 1,19 son catalogadas como tejido urbano discontinuo y 0,75 como uso deportivo y recreativo. Por tanto, el porcentaje de usos incompatibles es 7,58%, correspondiente al rango de valor 1.

Tabla 90. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

Castiello de Jaca presenta categorías de uso de suelo más diversas que las localidades estudiadas hasta ahora. Concretamente, esta zona inundable cuenta con 1,92 ha de zonas de secano, 9,70 ha de mosaico de cultivos, 1,08 ha de bosques de frondosas, 1,19 ha de matorral boscoso de transición y 9,76 ha de arenales (graveras).

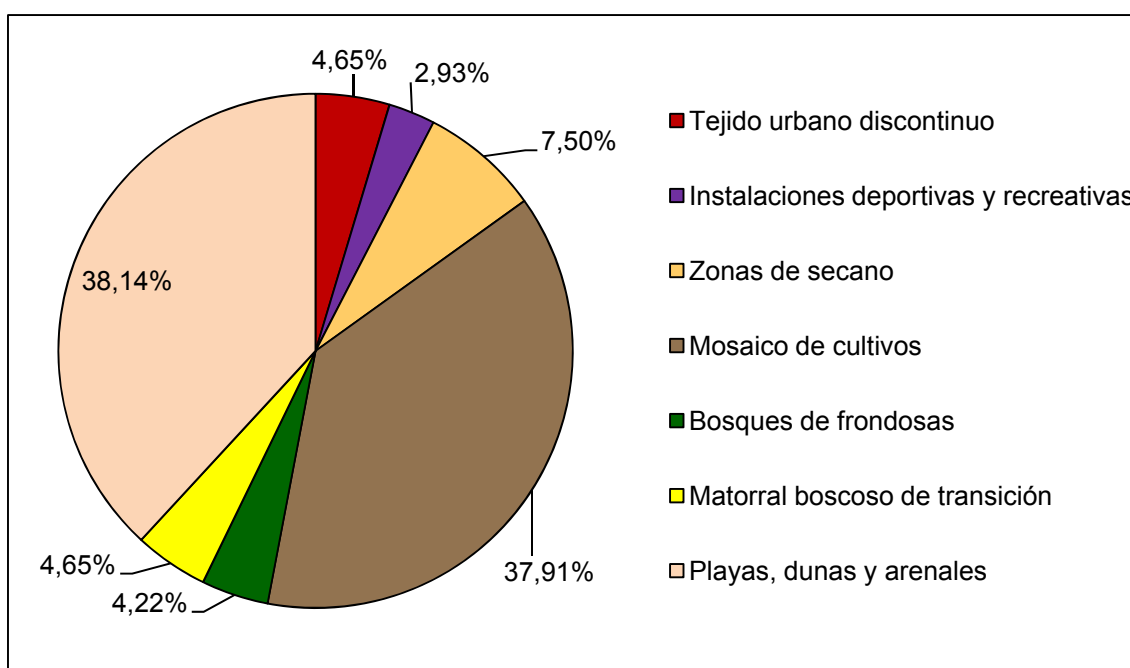


Figura 57. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

Por último, aparecen tres tipos de infraestructuras lineales expuestas: suministro de agua y viarias (el puente de la carretera a Bescós de Garcipollera (4 habitantes, *IAEST 2015*) y a Villanovilla (11 habitantes, *IAEST 2015*)). Por tanto, la variable INF tiene un valor de 2.

En la Tabla 91 se recoge el resumen de los valores finales de las variables hasta aquí otorgados.

Tabla 91. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). (*Elaboración propia*).

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	2

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

El suelo urbano en esta zona inundable ocupa una extensión de 0,63 ha, que implica 7 habitantes expuestos. Por tanto, la variable PEX continúa en el rango de menor exposición (valor 1).

CAC permanece constante y no se aprecian variaciones en INF respecto al nivel de peligrosidad anterior, por lo que continúan presentando los valores 3 y 2, respectivamente.

Tampoco USO cambia de rango (valor 1), aunque el porcentaje de usos incompatibles desciende al 6,15%. Aquí, las instalaciones recreativas y deportivas ocupan 0,63 ha, las zonas de secano 1,36 ha, el mosaico de cultivos 8,58 ha, los bosques de frondosas 1,04 ha, el matorral boscoso de transición 0,93 ha y las graveras 8,98 ha. La superficie de mosaico de cultivos, la de bosques de frondosas y la de graveras aumentan su porcentaje en, respectivamente, 0,63%, 0,45% y 2,10%.

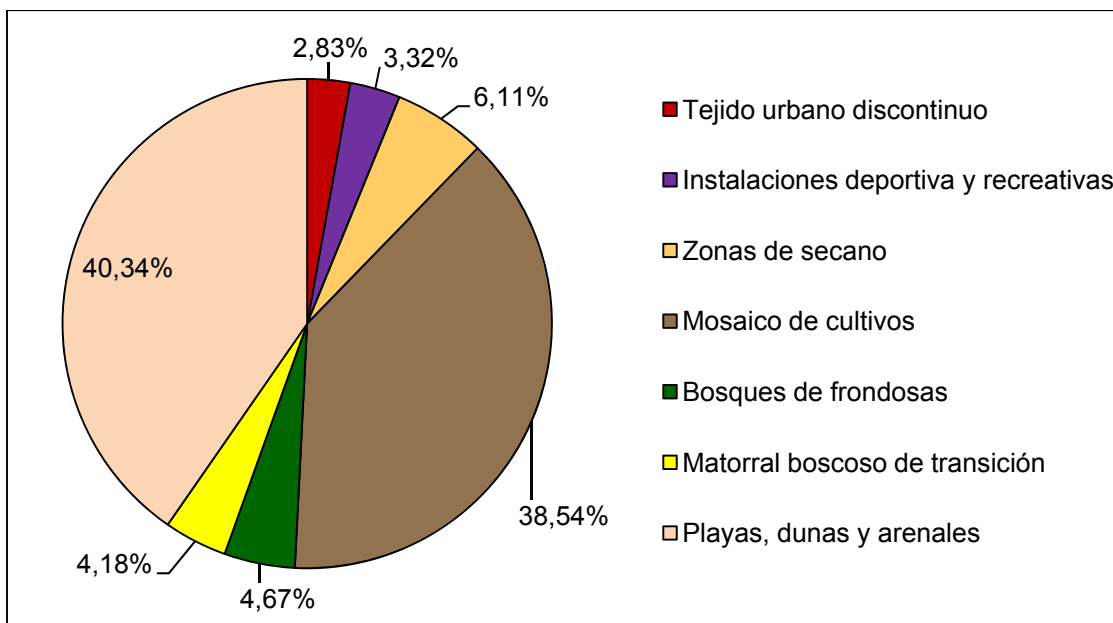


Figura 58. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

Tabla 92. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). *(Elaboración propia)*.

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	2

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

Las hectáreas de suelo urbano en esta zona inundable descienden a 0,57, haciendo que el número de personas expuesta sea, por tanto, 6. Así, la variable PEX continua teniendo un valor de 1 (rango de menos de 25 personas).

CAC e INF continúan valiendo 3 y 2, pues tampoco en esta zona inundable existen diferencias en cuanto a infraestructuras lineales expuestas.

La variable USO también sigue presentando el valor 1, pues el porcentaje de usos incompatibles es ahora 6,15% (mismo resultado que en el nivel de peligrosidad anterior). Las instalaciones deportivas y recreativas ocupan 0,57 ha, las zonas de secano 1,29 ha, el mosaico de cultivos 8,09 ha, los bosques de frondosas 1,02 ha, el matorral 0,83 ha y las graveras 8,44 ha. Todas las categorías aumentan su porcentaje excepto el suelo urbano, el matorral y las graveras, que pierden, respectivamente, 0,11%, 0,22% y 0,07%.

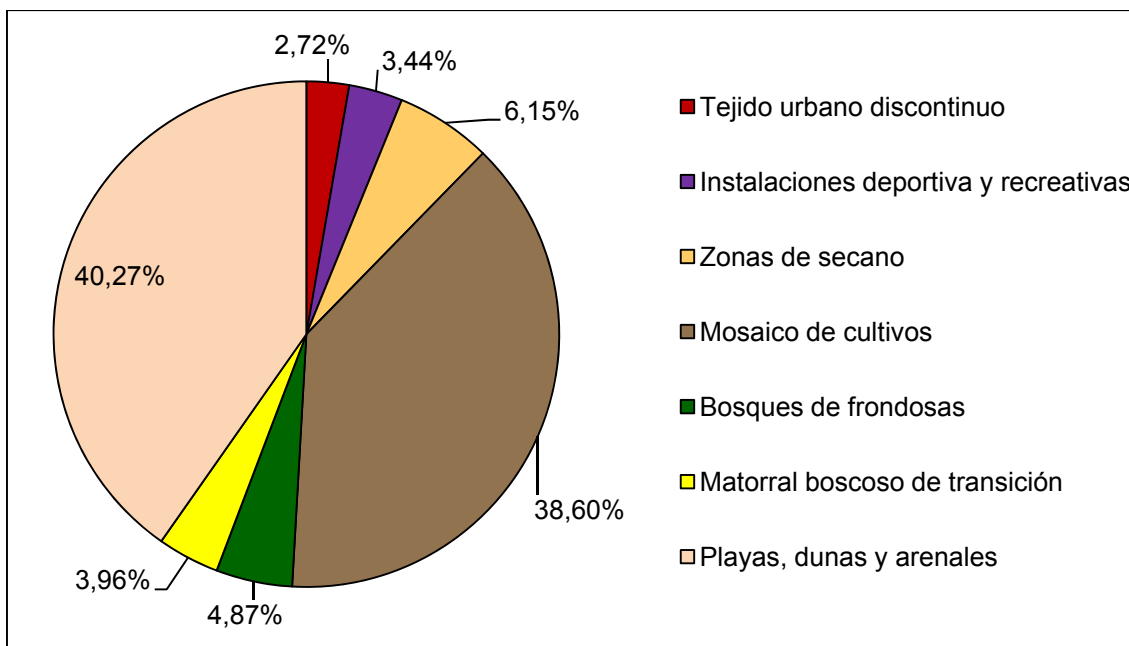


Figura 59. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

Con todo esto, en la Tabla 93 se muestran los valores finales otorgados a las variables de exposición correspondientes a este nivel de peligrosidad.

Tabla 93. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). *(Elaboración propia)*.

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	2

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).

Esta zona inundable comprende tan sólo 0,20 ha de suelo urbano, lo que hace que el número de habitantes expuesto se vea reducido a 2. Así pues, el valor final de la variable PEX es 1 (menos de 25 habitantes).

CAC continúa inalterable e INF sigue situándose en el rango de valor 2.

En cuanto a USO, la superficie de instalaciones deportivas y recreativas desciende a 0,02 ha, que, junto a la superficie urbana, hacen que el porcentaje de usos incompatibles también disminuya, situándose en el 1,40% (4,75% menos). La variable sigue, por tanto, situándose en el rango de valor 1 (menos del 20%).

En esta zona inundable, las zonas de secano han pasado de abarcar 1,29 ha a 0,48 ha; el mosaico de cultivos, de 8,09 ha a 6,41 ha; los bosques de frondosas, de 1,02 ha a 0,96 ha; el matorral boscoso de transición, de 0,83 ha a 0,66 ha; y los arenales (graveras), de 8,44 ha a 7 ha. La superficie de todas estas categorías, excepto zonas de secano y las relativas a usos incompatibles, ha aumentado su porcentaje sobre el total, siendo el aumento de las graveras el más notable (4,23%).

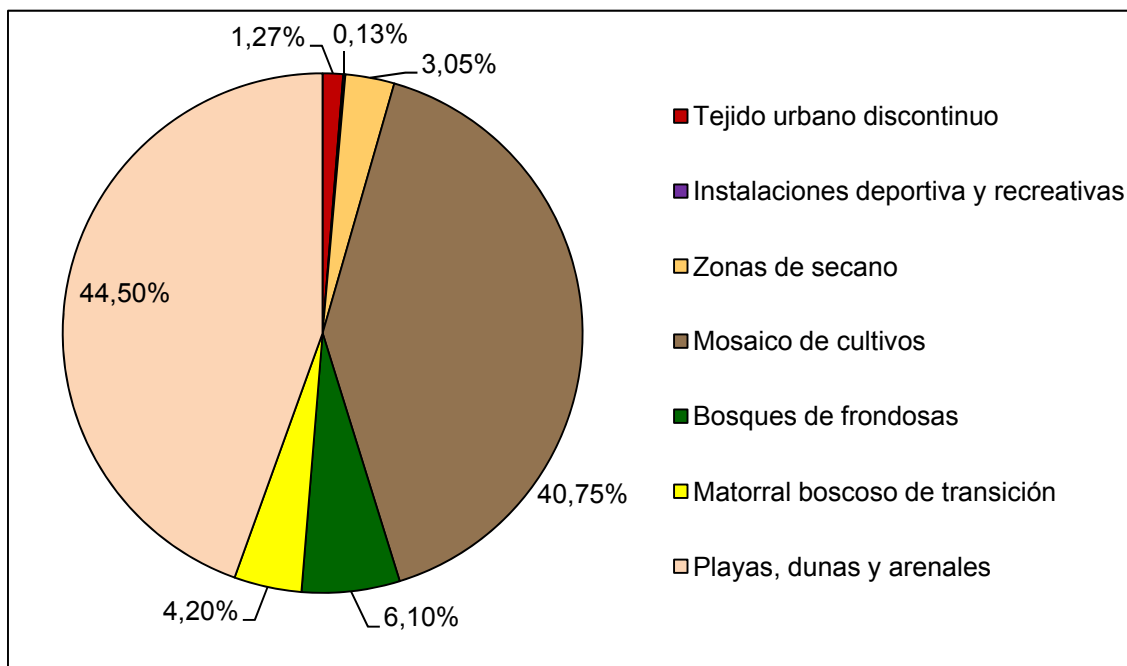


Figura 60. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia).*

En la Tabla 94 se presenta el resumen de los valores de las variables de exposición correspondientes al nivel de peligrosidad muy alta, y en la Tabla 95, el resumen de resultados obtenidos en cada variable de cada nivel de peligrosidad y los valores finales otorgados.

Tabla 94. Valores de las variables de exposición en Castiello de Jaca para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
1	3	1	2

Tabla 95. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Castiello de Jaca según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia)*.

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	13	1
	CAC	0,28	3
	USO	7,58%	1
	INF	2	2
Peligrosidad baja T=100	PEX	7	1
	CAC	0,28	3
	USO	6,15%	1
	INF	2	2
Peligrosidad alta T=50	PEX	6	1
	CAC	0,28	3
	USO	6,15%	1
	INF	2	2
Peligrosidad muy alta T=10	PEX	2	1
	CAC	0,28	3
	USO	1,40%	1
	INF	2	2

- Variables de vulnerabilidad.

En primer lugar, la variable MEC presenta el valor 1, como en todas las localidades, por la buena cobertura de medios y recursos que garantiza el PLATEAR.

En cuanto a PRO, en el cauce del río Aragón no existen motas o diques, sólo se han realizado obras de protección frente a la erosión de las orillas, como en todas las localidades estudiadas aguas arriba. Concretamente hay cuatro tramos de escollera y uno de muro.

La primera escollera se encuentra en la margen derecha antes de llegar a la urbanización El Molino, realizada tras la crecida de octubre de 2012 para reforzar el cauce principal del río. La segunda está en la margen izquierda justo enfrente de la urbanización, en la curva de erosión de un meandro del río. La tercera, en la margen derecha, va desde el final de la urbanización, justo debajo del puente del ferrocarril, hasta el puente de la carretera a Bescós de la Garcipollera, interrumpida por la desembocadura del barranco Casadioses. Inmediatamente aguas debajo de dicho puente, aparece también en la margen derecha un tramo de muro que protege a las viviendas de la urbanización Dos Valles. Después de este se encuentra el último tramo de escollera, realizado para la protección del campo de fútbol.



Figura 61. Escollera en la margen derecha aguas arriba de la urbanización El Molino.

(Foto de Daniel Bellosta).

Figura 62. Escollera en la margen izquierda, frente a la urbanización El Molino.

(Foto de Daniel Bellosta).



Figura 63. Escollera en la margen derecha desde el puente del ferrocarril hasta el de la carretera a Bescós de la Garcipollera.

(Foto de Javier Garatachea).

Figura 64. Muro y escollera en la margen derecha para la protección de la urbanización Dos Valles y del campo de fútbol, respectivamente.

(Foto de Javier Garatachea).



En la entrevista, el alcalde indicó que existían dos tramos: uno desde la toma de agua para Jaca hasta el puente hacia Bescós de la Garcipollera, obra posterior a la crecida de 2012, y otro en la zona deportiva, anterior a dicha crecida y que la soportó bien. Estaba bien orientado, pues conoce los tramos en que hay escolleras, aunque la primera no es continua como él daba a entender.

El barranco Casadioses, en cambio, sí presenta ambos tipos de obras de defensa, pues en el tramo naturalizado del barranco (en la parte superior del núcleo urbano) aparecen diques en el cauce, como se puede ver en la Figura 53. Además, todo su recorrido cuenta con muros para evitar la erosión de las orillas, aunque en ocasiones cambian por escolleras.

Por otro lado, hasta Castiello de Jaca, los únicos embalses de capacidad considerable son el de Canfranc y el de Ip, que regulan una superficie de cuenca de 65,5 y 8 km², respectivamente. La superficie de cuenca no regulada hasta Castiello asciende a 136,02 km², por lo que la superficie de cuenca regulada supone el 35,08%. Así, siguiendo los rangos establecidos, la variable REG adquiere aquí el valor 4.

Tabla 96. Rango y valor de la variable REG en Castiello de Jaca. (Elaboración propia).

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

Además de los embalses, Castiello de Jaca tiene presentes, en el barranco Casadioses, los otros cuatro tipos de obras que pueden causar efectos negativos aguas abajo: canalización, impermeabilización de cuenca y de cauce, y estrechamiento de cauce.

El tiempo de reacción es aquí bastante superior, dando un margen ancho a evacuaciones y otras tareas de preparación. Mientras en Villanúa era 1h50min, en Castiello de Jaca asciende a 2h35min (155,06 min). Por consiguiente, el valor de vulnerabilidad para la variable TDR es de 2.

Tabla 97. Rango y valor de la variable TDR en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Tabla 98. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
2.093	862	1.231	25.567	0,048	155,06

En cuanto a sistemas de predicción disponible, Castiello de Jaca no presenta elementos nuevos respecto a los sistemas disponibles en Villanúa y Canfranc-Pueblo. Por tanto, se dispone del pluviométrico de Candanchú, a 20,7 km, y del aforo de Canfranc-Pueblo, a 11,6 km. Así, la variable PRD presenta un valor 2. Cambia de rango respecto a las localidades anteriores, pues el pluviométrico de Candanchú se encuentra ya a una distancia superior a los 20 km.

Tabla 99. Rango y valor de la variable PRD en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia).*

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

D. Álvaro Salesa, alcalde del municipio, sí es conocedor del Plan Comarcal de Protección Civil, aunque no hizo referencias al conocimiento de informes hidrológicos (a pesar de destacar la estrecha relación con la Confederación Hidrográfica del Ebro a raíz de las inundaciones de 2012).

Tabla 100. Rango y valor de la variable PRV en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia).*

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce, o existen los dos y se conoce uno	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

También cabe resaltar que en este municipio no se lleva a cabo ningún tipo de actividad educativa relativa al riesgo de inundación, aunque la avenida de octubre de 2012 fue, en palabras del alcalde, “una demostración para todos los habitantes del valle de que hay que respetar el cauce del río, o su proximidad, sin invadirlo con urbanizaciones u otros elementos que impidan la circulación del agua”. Esta perspectiva hace que la variable EDU se sitúe en el rango de valor 4.

Tabla 101. Rango y valor de la variable EDU en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Para terminar, en cuanto a PLU, en la entrevista el alcalde dijo que el Plan General de Ordenación Urbana sí incluía referencias tanto a los riesgos naturales como al riesgo de inundación, pero no se ha podido analizar el documento (no se encuentra disponible en la página web del ayuntamiento). Por esto, la variable PLU no se valora.

Con todo lo hasta aquí presentado, se resumen los resultados obtenidos para la vulnerabilidad en Castiello de Jaca en la Tabla 102.

Tabla 102. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia)*.

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	4	2	2	3	4	0

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(1+3+1+2)]*[0,4*(1+4+2+2+3+4+0)]= 3,58$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(1+3+1+2)]*[0,4*(1+4+2+2+3+4+0)]= 7,17$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(1+3+1+2)]*[0,4*(1+4+2+2+3+4+0)]= 10,75$$

- Peligrosidad muy alta (T=10 años)

$$IR=0,4*4*[0,2*(1+3+1+2)]*[0,4*(1+4+2+2+3+4+0)]= 14,34$$

Tabla 103. Índices de riesgo en Castiello de Jaca. *(Elaboración propia).*

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
3,58	7,17	10,75	14,34

3.2.5. RÍO ARAGÓN: JACA

En Jaca también se realizaron dos visitas, el 25 de junio de 2015 y el 17 de julio de 2015. En la primera se efectuaron las observaciones de campo pertinentes (dos observadores) y en la segunda se mantuvo la entrevista con el alcalde, D. Juan Manuel Ramón (Anexo XX). Se establecieron cinco puntos de observación, dos de los cuáles son sobre el río Gas. Las imágenes de su ubicación y de mediciones de distancia del núcleo urbano al cauce se recogen en el Anexo XXI.

Sólo existen datos disponibles de zona inundable relativa al río Gas, quizás porque la ciudad se ha extendido más hacia este río que hacia el Aragón y, por razones de relieve, el río Aragón no resulta peligroso.

Jaca sí presenta diferencias significativas en alguna variable que provocan cambio de rango entre los diferentes niveles de peligrosidad. Los cuatro mapas de usos de suelo en sus zonas inundables se recogen en el Anexo XXII.

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

Jaca tiene una población de 12.147 habitantes y 320,66 ha de suelo urbano. De esta superficie, tan sólo 0,14 ha están incluidas en la zona inundable de peligrosidad muy baja, por lo que los habitantes expuestos son 5, dato que corresponde al rango de valor 1. Esta es la única zona inundable que incluye suelo urbano, por lo que en los siguientes niveles de peligrosidad no habrá personas expuestas.

Tabla 104. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Jaca. *(Elaboración propia).*

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

El punto más cercano del núcleo poblacional al cauce es una de las urbanizaciones al sudeste de Jaca, al este de la zona deportiva. Ahí la distancia al cauce son 5,00 m y la altura es de 3,50 m, por lo que CAC=0,24, dato correspondiente al rango de valor 2.

Tabla 105. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Jaca. *(Elaboración propia).*

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1

La zona inundable de peligrosidad muy baja tiene una extensión de 17,80 ha. Esta superficie abarca dos tipos de usos de suelo incompatibles: urbano (0,14 ha) y deportivo (3,54 ha). Por tanto, el porcentaje de usos incompatibles sobre el total es de 20,67%, lo que hace que la variable USO adopte el valor 2.

Tabla 106. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Jaca. *(Elaboración propia).*

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

El resto de zona inundable corresponde a zonas de secano y de regadío permanente (2,14 ha y 8,64 ha, respectivamente), terrenos principalmente agrícolas (2,49 ha) y bosques mixtos (0,85 ha).

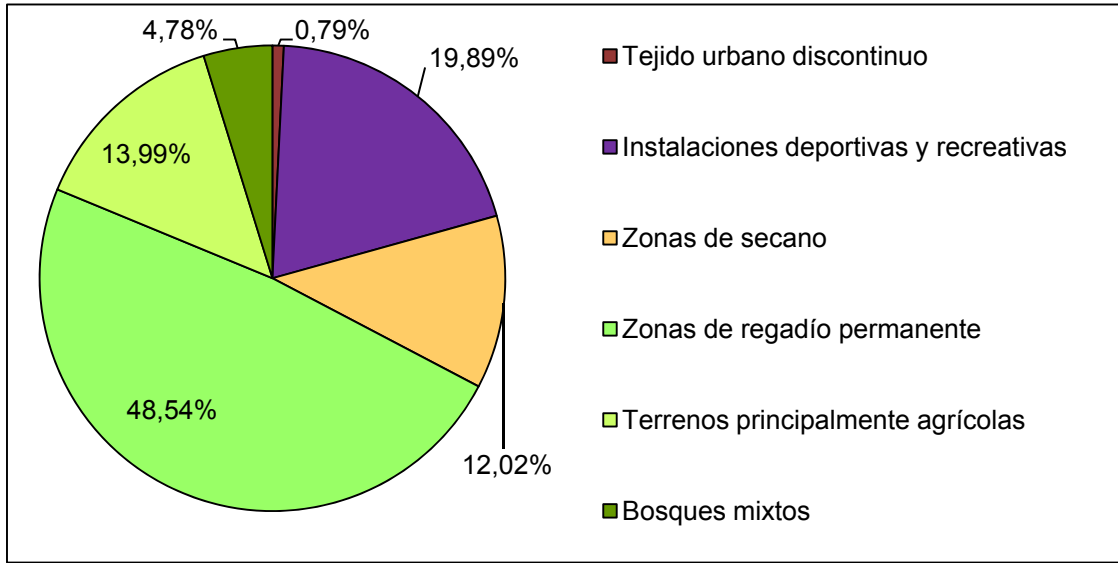


Figura 65. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Jaca. *(Elaboración propia).*

No existen oleoductos ni gaseoductos, y la red de abastecimiento de agua y la de saneamiento no se verían afectadas ante una crecida de este nivel. En cambio, la red eléctrica y algunas infraestructuras viarias sí sufrirían daños, por lo que la variable INF adquiere aquí el valor 2. Concretamente, estaría afectada la carretera de acceso a

Barós y Ulle, localidades con 99 y 32 habitantes, respectivamente, según el padrón de 2014 (IAEST, 2015). Aún así estas localidades no se verían incomunicadas, pues existe otro acceso desde la E-7, al sur de Jaca antes de cruzar el Gas.

Como resumen de lo presentado hasta aquí, en la Tabla 107 se recogen los valores finales otorgados a las diferentes variables.

Tabla 107. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
1	2	2	2

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

Como se ha mencionado anteriormente, esta zona inundable no incluye suelo urbano, por lo que no hay habitantes expuestos directamente y, con ello, se elimina la variable.

A pesar de esto, sigue habiendo un uso incompatible presente, el deportivo, que ocupa 1,35 ha de las 8,79 totales. Así, el porcentaje de usos incompatibles es 15,36%, dato correspondiente al rango de valor 1.

Tabla 108. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad baja en Jaca. *(Elaboración propia).*

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

Las restantes categorías presentes son las mismas que en la zona inundable de peligrosidad muy baja: zonas de secano (0,90 ha), zonas de regadío permanente (3,78 ha), terrenos principalmente agrícolas (1,97 ha) y bosques mixtos (0,79 ha). Estas dos últimas son las únicas que aumentan su porcentaje sobre el total, concretamente en 8,42% y 4,21%.

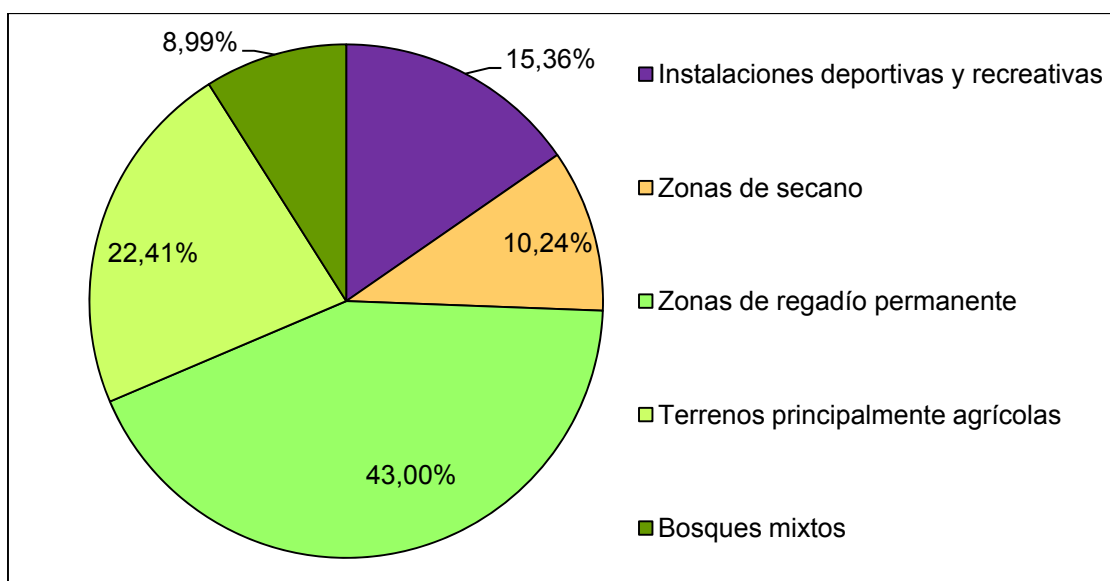


Figura 66. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Jaca. *(Elaboración propia).*

Por su parte, CAC permanece constante y no se aprecian diferencias en INF, por lo que ambas variables continúan presentando el valor 2.

Tabla 109. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
0	2	1	2

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

PEX, CAC e INF no presentan variaciones respecto al nivel anterior: PEX porque tampoco esta zona inundable abarca suelo urbano, CAC por su carácter constante e INF por no apreciarse diferencias.

USO sí sufre modificaciones, aunque no cambia de rango (valor 1). El porcentaje de usos incompatibles (deportivo) desciende al 10,12%, con 0,69 ha. Las zonas de secano pasan de abarcar 0,90 ha a 0,83 ha; las zonas de regadío permanente, de 3,78 ha a 2,97 ha; los terrenos principalmente agrícolas, de 1,97 ha a 1,58 ha; y los bosques mixtos, de 0,79 ha a 0,75 ha. Todas, excepto las instalaciones deportivas y recreativas, aumentan su porcentaje.

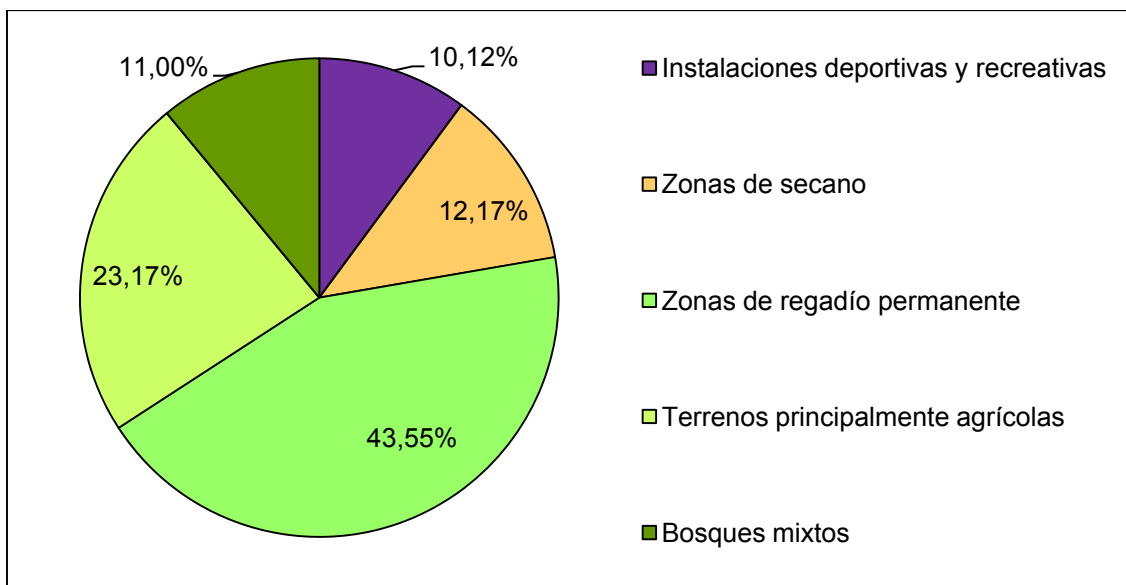


Figura 67. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Jaca. *(Elaboración propia).*

Tabla 110. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
0	2	1	2

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).

PEX y CAC también continúan aquí presentando la misma situación. En cambio, INF sí sufre modificaciones. La vía verde junto al cauce del río Gas ya no se ve afectada, y con ella, la red eléctrica que estaba presente en los anteriores niveles de peligrosidad. Así, las infraestructuras lineales expuestas se reducen a las viarias (valor 1).

USO continúa cambiando, pero sin cambiar de rango (valor 1). Las instalaciones deportivas y recreativas ocupan ahora 0,09 ha de las 3,39 ha totales de la zona inundable, un 2,29%. Las zonas de secano abarcan 0,68 ha; las de regadío permanente, 1,83 ha; los terrenos principalmente agrícolas, 0,77 ha; y los bosques mixtos, 0,56 ha. Junto al uso deportivo, los terrenos principalmente agrícolas son los únicos que ven su porcentaje disminuido, concretamente un 7,83% y un 3,58%, respectivamente.

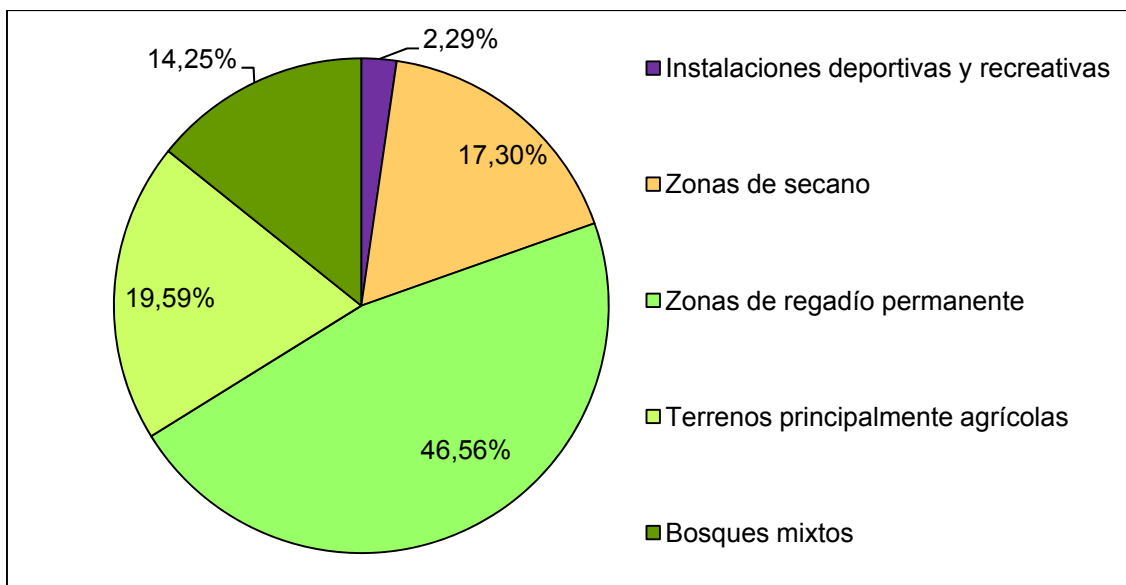


Figura 68. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Jaca. *(Elaboración propia).*

La Tabla 111 recoge los valores finales de las variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta, y la Tabla 112, el resumen de resultados obtenidos en cada variable de cada nivel de peligrosidad y los valores finales otorgados.

Tabla 111. Valores de las variables de exposición en Jaca para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
0	2	1	1

Tabla 112. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Jaca según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia).*

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	5	1
	CAC	0,24	2
	USO	20,67%	2
	INF	2	2
Peligrosidad baja T=100	PEX	0	0
	CAC	0,24	2
	USO	15,36%	1
	INF	2	2
Peligrosidad alta T=50	PEX	0	0
	CAC	0,24	2
	USO	10,12%	1
	INF	2	2
Peligrosidad muy alta T=10	PEX	0	0
	CAC	0,24	2
	USO	2,29%	1
	INF	1	1

- Variables de vulnerabilidad.

En primer lugar, la variable MEC presenta el valor 1, como en todas las localidades, por la buena cobertura de medios y recursos que garantiza el PLATEAR.

En cuanto a PRO, el río Gas no tiene ningún tipo de obra de protección, y el Aragón sólo un pequeño tramo con muro en la zona del aforo, que se muestra en la Figura 69.



Figura 69. Muro en la zona del aforo del río Aragón en Jaca.

(Foto de Daniel Bellosta).

Por otro lado, hasta Jaca, como en Castiello de Jaca, en Villanúa y en Canfranc-Pueblo, los únicos embalses de capacidad considerable son el de Canfranc y el de Ip, que regulan una superficie de cuenca de 65,5 y 8 km², respectivamente. La superficie de cuenca no regulada hasta aquí asciende a 164,18 km², por lo que la superficie de cuenca regulada supone el 30,92%. Así, siguiendo los rangos establecidos, la variable REG adquiere el valor 4 (igual que en Castiello de Jaca y Villanúa).

Tabla 113. Rango y valor de la variable REG en Jaca. (Elaboración propia).

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

Además de los embalses, Jaca no presenta otras actuaciones antrópicas con posibles efectos negativos aguas abajo: ni canalizaciones, ni impermeabilización de cuenca y/o de cauce, ni estrechamientos de cauce.

El tiempo de reacción en Jaca es el más alto de los estudiados hasta ahora. En Castiello de Jaca era ya elevado (2h35min), pero aquí se gana casi una hora más: 3h25min (205,32 min). Aún así, este dato hace que la variable TDR en Jaca se sitúe en el mismo rango que en Castiello de Jaca, el de valor 2.

Tabla 114. Rango y valor de la variable TDR en Jaca. *(Elaboración propia)*.

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Tabla 115. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Jaca. *(Elaboración propia)*.

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
2.093	766	1.327	33.430	0,040	205,32

En cuanto a sistemas de predicción disponible, Jaca no presenta diferencias respecto a Castiello de Jaca, es decir, cuenta con un pluviométrico a más de 20 km (el de Candanchú, a 27,7 km) y un aforo a menos de 20 km (el de Canfranc-Pueblo, a 18,6 km). Así, la variable PRD presenta el valor 2.

Tabla 116. Rango y valor de la variable PRD en Jaca. *(Elaboración propia)*.

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

D. Juan Manuel Ramón, alcalde del municipio, en el momento de la entrevista, no conocía la existencia del Plan Comarcal de Protección Civil, ni del PLATEAR, ni de informes hidrológicos, a pesar de su existencia. Por tanto, la variable PRV adquiere un valor de 2.

Tabla 117. Rango y valor de la variable PRV en Jaca. *(Elaboración propia)*.

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

En lo referido a actividades de educación en el riesgo, el alcalde dijo que no se llevan a cabo porque no se contempla tal riesgo: hay altura sobre el río Aragón, el río Gas es profundo y se sabe que el barranco de Ipas puede causar anegaciones en garajes, igual que se sabe que la zona de huertas en la confluencia del Gas con el Aragón también suele inundarse. Por tanto, se ha decidido otorgar un 5 a la variable, pues ese conocimiento de afecciones menores lleva a una falsa seguridad.

Tabla 118. Rango y valor de la variable EDU en Jaca. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Para terminar, pese a que D. Juan Manuel Ramón no era conocedor, el PGOU de Jaca incorpora referencias a los riesgos naturales, detalla el de inundación y hay cartografía.

Concretamente, en el artículo 6.4. de la Memoria (Tomo I), relativo al suelo no urbanizable, el apartado de áreas homogéneas especifica uno de sus tipos como “áreas de riesgos naturales”, y de ellas dice:

“Son aquellas superficies con graves riesgos naturales: corredores de aludes, conos, abanicos aluviales activos, movimientos en masa, zonas inundables en las crecidas fluviales, en las que deben ser limitadas o prohibidas las edificaciones o cualquier obra que pueda ser afectada por el proceso de riesgo contratado.”

En la Normativa Urbanística I (Tomo III), el capítulo 8 hace referencia a las normas generales de protección. El artículo 99 habla de los cauces públicos y sus márgenes, y dice:

“Se entiende como cauce o álveo de un río, arroyo, laguna o embalse la superficie delimitada por el nivel máximo de crecida ordinaria.

A ambos lados del cauce se define la zona de servidumbre, de 5 m de anchura, afectada por la servidumbre de uso público.

En la zona de servidumbre se prohíben construcciones o cerramientos de cualquier tipo, excepto aquellos que sean otorgados, por causas excepcionales, por el Organismo de Cuenca.

Exteriormente a la zona de servidumbre, se define la zona de policía, delimitada por una línea paralela al cauce distante de él 100 m.

En la zona de policía será exigible autorización previa de la Comisaría de Aguas para cualquier actuación, que en todo caso deberá ser compatible con estas Normas.

Se prohíbe levantar y sacar fuera de los cauces, las piedras o arenas existentes en los mismos en cantidad susceptible de perjudicar la capacidad biogénica del medio.

La autorización de cualquier extracción de áridos en los márgenes conllevará un estudio de su impacto ecológico así como un proyecto de sellado, que deberán ser aprobados por la Comisión Provincial de Ordenación del Territorio. Se prohíben los vertidos de aguas residuales a cauces públicos sin depuración previa.

Con carácter orientativo, salvo condiciones especiales, se prohíbe la edificación en zonas inundables con períodos de retorno inferiores a 50 años.”

Así pues, la variable PLU adquiere el valor 1, pues se considera que el riesgo de inundación está suficientemente bien tratado, además de contemplar también los riesgos naturales en su conjunto.

Tabla 119. Rango y valor de la variable PLU en Jaca. *(Elaboración propia)*.

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

Con todo lo hasta aquí presentado, se resumen los resultados obtenidos para la vulnerabilidad en Jaca en la Tabla 120.

Tabla 120. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Jaca. *(Elaboración propia)*.

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	4	2	2	2	5	1

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(1+2+2+2)]*[0,4*(1+4+2+2+2+5+1)]= 3,81$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(0+2+1+2)]*[0,4*(1+4+2+2+2+5+1)]= 5,44$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(0+2+1+2)]*[0,4*(1+4+2+2+2+5+1)]= 8,16$$

- Peligrosidad muy alta (T=10 años)

$$IR=0,4*4*[0,2*(0+2+1+1)]*[0,4*(1+4+2+2+2+5+1)]= 8,70$$

Tabla 121. Índices de riesgo en Jaca. *(Elaboración propia)*.

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
3,81	5,44	8,16	8,70

3.2.6. RÍO GÁLLEGO: BIESCAS

El 7 de julio de 2015 se llevó a cabo la única visita a la localidad. Se realizó la entrevista al alcalde, D. Luis Estaún, (Anexo XXIII) y se efectuaron las observaciones de campo pertinentes, siendo tres observadores y estableciendo nueve puntos. Las imágenes de su ubicación y de mediciones de distancia del núcleo urbano al cauce se recogen en el Anexo XXIV.

Como todas las localidades estudiadas en el río Aragón, excepto Castiello de Jaca, Biescas presenta cambios de rango en alguna de sus variables entre niveles de peligrosidad. Los cuatro mapas de usos de suelo en sus zonas inundables se recogen en el Anexo XXV.

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

Biescas tiene una población de 1.163 habitantes y cuenta con 60,59 ha de suelo urbano. De esta superficie, 15,80 ha están incluidas en la zona inundable de peligrosidad muy baja, por lo que los habitantes expuestos son 303. Así, la variable PEX adquiere el valor 4.

Tabla 122. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Biescas. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

El punto más cercano del núcleo urbano al cauce es un conjunto de viviendas en la margen derecha del río Gállego situadas junto al puente de la Rambla de San Pedro, que da acceso a la plaza del ayuntamiento. La distancia al cauce es 1,00 m y la altura es de 4,50 m, por lo que $CAC=0,47$, dato correspondiente al rango de valor 4.

Tabla 123. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Biescas. *(Elaboración propia).*

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1



Figura 70. Viviendas junto al puente en la margen derecha.
(Foto de Alba Lacambra).

La extensión municipal de la zona inundable de peligrosidad muy baja es 392,42 ha. El único uso incompatible que aparece en ella es el urbano, que, como se ha dicho anteriormente, ocupa 15,80 ha, representando tan sólo el 4,03% del total. Por tanto, la variable USO se sitúa aquí en el rango de valor 1 (ver Tabla 124).

El resto de zona inundable comprende muy diversas categorías de usos de suelo: praderas, terrenos principalmente agrícolas, bosques de frondosas (la de mayor superficie), bosques de coníferas, bosques mixtos, pastizales naturales, matorrales, vegetación esclerófila (la de menor superficie), matorral boscoso de transición, roquedo y láminas de agua. Al ser tantas, no se va a entrar a especificar la extensión

de cada una de ellas, aunque en la Figura 71 se puede apreciar la representación de cada una sobre el total.

Tabla 124. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Biescas. *(Elaboración propia)*.

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

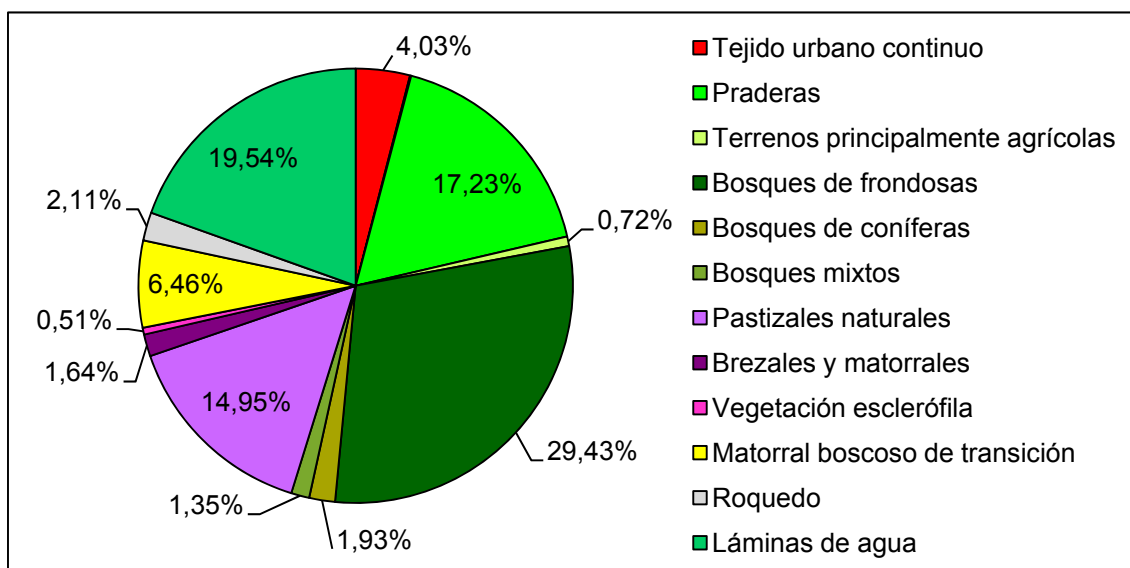


Figura 71. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Biescas. *(Elaboración propia)*.

Por último, el único tipo de infraestructura lineal no expuesto es el oleoducto o gaseoducto, por no existir. Sí están expuestas la red eléctrica, la de abastecimiento de agua y la de saneamiento, e infraestructuras viarias (la N-260). Así pues, la variable INF adopta aquí el valor 4, hasta ahora sólo alcanzado en Canfranc-Estación.

Como resumen de lo presentado hasta aquí, en la Tabla 125 se recogen los valores finales otorgados a las diferentes variables.

Tabla 125. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). *(Elaboración propia)*.

PEX	CAC	USO	INF
4	4	1	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

La superficie de suelo urbano en esta zona inundable se reduce a 8,79 ha, casi la mitad que en la del anterior nivel de peligrosidad; por lo que los habitantes expuestos también disminuyen considerablemente, siendo ahora 168. Este dato sitúa a la variable PEX en el rango de valor 3, un punto menos que en el nivel de peligrosidad anterior.

Tabla 126. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad baja en Biescas. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

CAC permanece constante por su carácter independiente de la zona inundable e INF no presenta diferencias respecto al nivel de peligrosidad anterior, por lo que ambas adquieren también aquí el valor 4.

En cambio USO sí se ve modificado, aunque no cambia de rango. El porcentaje de usos incompatibles (urbano) desciende aquí al 2,55% (frente al 4,03% del nivel de peligrosidad muy baja). Sigue, por tanto, situándose en el rango de valor 1 (menos del 20%).

En esta zona inundable aparecen las mismas categorías que en la anterior, cambiando su porcentaje sobre el total, aunque la de mayor superficie continúa siendo el bosque de frondosas, y la de menor, la vegetación esclerófila.

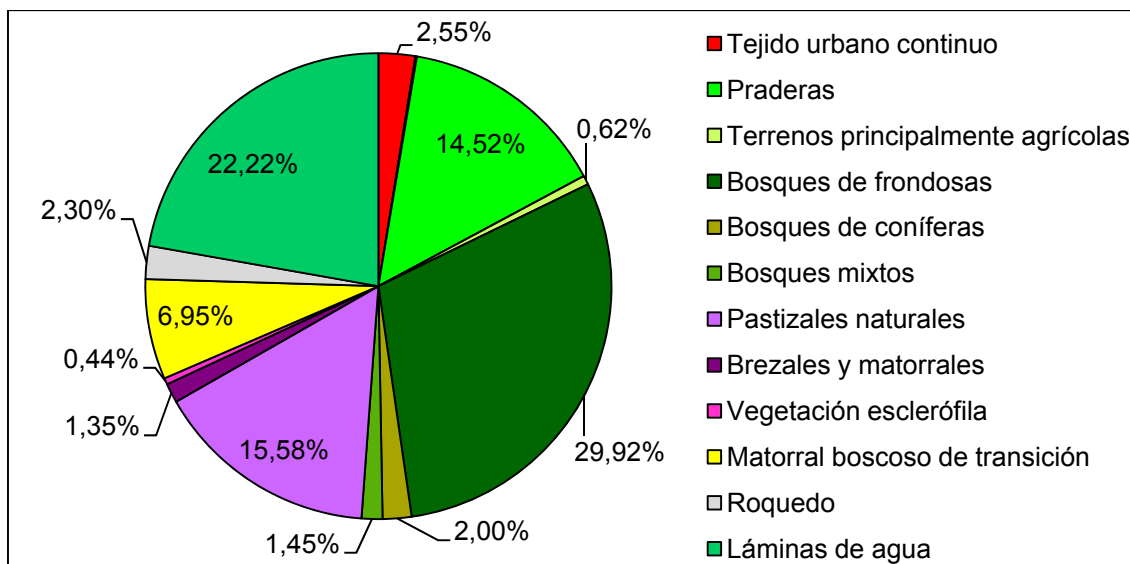


Figura 72. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Biescas. *(Elaboración propia).*

Tabla 127. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
3	4	1	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

El descenso de superficie urbana en esta zona inundable respecto a la anterior es menor que entre las dos anteriores. De las 8,79 ha correspondientes a la zona inundable de peligrosidad baja pasamos aquí a 7,15 ha. Esto hace que los habitantes expuestos disminuyan a 137, dato que mantiene a PEX en el rango de valor 3 (100-200 habitantes expuestos).

CAC e INF se mantienen en el valor 4, por los mismos motivos que en el nivel de peligrosidad anterior: CAC es constante y no se aprecian diferencias en las infraestructuras lineales expuestas.

También USO se mantiene en el valor 1, pues el porcentaje de usos incompatibles continúa disminuyendo. Aquí constituye el 2,16%, un 0,39% menos que en el nivel de peligrosidad baja. Las restantes categorías continúan siendo las mismas e, igualmente, la de mayor superficie es el bosque de frondosas y la de menor superficie la vegetación esclerófila.

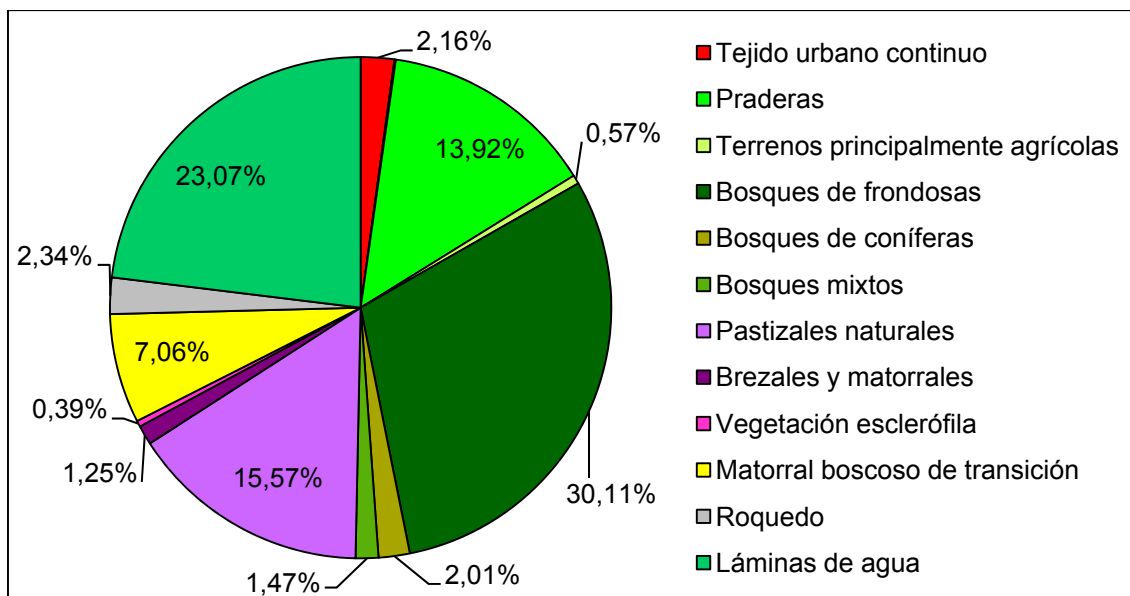


Figura 73. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Biescas. *(Elaboración propia).*

Así, los valores finales otorgados a cada una de las variables de exposición en este nivel de peligrosidad (peligrosidad alta), coinciden con los otorgados en el nivel anterior (peligrosidad baja). A modo de resumen se recogen en la Tabla 128.

Tabla 128. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
3	4	1	4

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años).

El suelo urbano en esta zona inundable abarca 6,76 ha, por lo que los habitantes expuestos son 129. Por tanto, PEX continúa en el rango de valor 3 (entre 100 y 200 habitantes expuestos).

Por su parte, CAC e INF también continúan en los rangos respectivos de valor 4, y USO en el de valor 1, aunque sigue presentando cambios.

En este caso, el porcentaje de usos incompatibles aumenta, situándose en el 3,94%, dato superior a los dos niveles de peligrosidad anteriores. Además, dos de las categorías de usos de suelo desaparecen (roquedo y láminas de agua), se modifican mucho los porcentajes, y aunque se mantienen la misma categorías de máxima

superficie (bosques de frondosas), la mínima pasa a ser la de terrenos principalmente agrícolas (0,05%). Todo esto debido a que la cartografía de la zona inundable aparece incompleta, no abarca todo el término municipal.

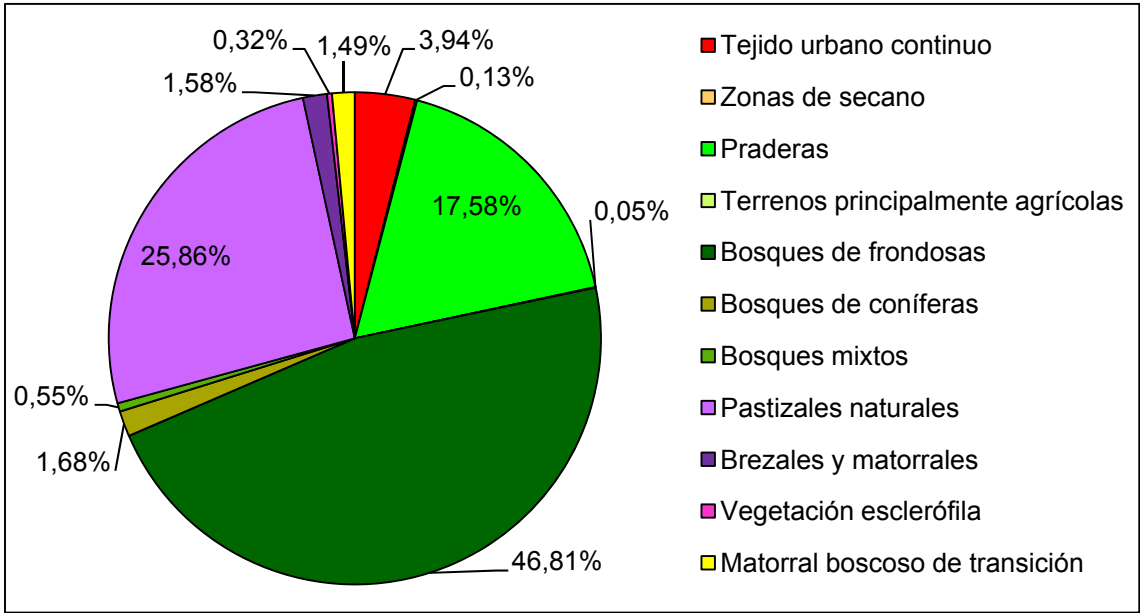


Figura 74. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años) en Biescas. *(Elaboración propia).*

Nuevamente, los valores finales otorgados a las variables no cambian, por lo que son coincidentes con los otorgados en los niveles de peligrosidad alta y baja.

Tabla 129. Valores de las variables de exposición en Biescas para un nivel de peligrosidad muy alta (T=10 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
3	4	1	4

Para terminar el apartado de variables de exposición, y a modo de resumen, en la Tabla 130 se recogen los resultados obtenidos y los valores otorgados a cada una de las variables de cada nivel de peligrosidad.

Tabla 130. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Biescas según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia).*

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	303	4
	CAC	0,47	4
	USO	4,03%	1
	INF	4	4
Peligrosidad baja T=100	PEX	168	3
	CAC	0,47	4
	USO	2,55%	1
	INF	4	4
Peligrosidad alta T=50	PEX	137	3
	CAC	0,47	4
	USO	2,16%	1
	INF	4	4
Peligrosidad muy alta T=10	PEX	129	3
	CAC	0,47	4
	USO	3,94%	1
	INF	4	4

- Variables de vulnerabilidad.

Como en todas las localidades de este estudio, la variable MEC presenta el valor 1 por la buena cobertura de medios y recursos que garantiza el PLATEAR.

En Biescas no existen obras de protección frente a inundaciones (motas y diques), pero sí frente a la erosión de las orillas. De hecho, el tramo en el que el río circula entre el casco urbano presenta muros en ambas márgenes, obra realizada varios años atrás, antes de la guerra civil. Además, a raíz de las avenidas de 1982 se construyeron nuevos tramos de muro y escollera.



Figuras 75 y 76. Muro en ambas márgenes del río Aragón en Biescas. (Foto de Alba Lacambra).

En cuanto a regulación de cuenca, aguas arriba de Biesca existen dos embalses relevantes: el de Lanuza, con una capacidad de 25,00 hm³, y el de Búbal, más cercano a la localidad, con 66,00 hm³ de capacidad. Además, muchos de los afluentes presentan pequeñas represaciones.

El embalse de Búbal regula 65,5 km² de cuenca vertiente, y entre Búbal y Biescas se han medido 31,54 km², por lo que el porcentaje de cuenca regulada supone el 95,05%. Este dato sitúa a la variable REG en el rango de valor 1, no alcanzado por ninguna de las localidades estudiadas del río Aragón.

Tabla 131. Rango y valor de la variable REG en Biescas. (Elaboración propia).

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

Las únicas actuaciones antrópicas con posibles efectos negativos aguas abajo presentes en Biescas ya han sido comentadas: la canalización y la represación de Búbal. No existen impermeabilizaciones de cuenca y/o de cauce, ni estrechamientos.

Por otro lado, el tiempo de reacción aquí es bastante alto: casi tres horas (179,10min). De las localidades estudiadas en el río Aragón, sólo lo supera el de Jaca (3h25min). Así, la variable TDR adquiere en Biescas el valor 2, como en Jaca y en Castiello de Jaca. En la Tabla 133 se recogen los factores calculados para la fórmula de Kirpich.

Tabla 132. Rango y valor de la variable TDR en Biescas. *(Elaboración propia)*.

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Tabla 133. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Biescas. *(Elaboración propia)*.

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
1.962	863	1.099	27.891	0,039	179,10

En lo referido a sistemas de predicción disponible, el embalse de Búbal, situado a 6,9 km de la localidad de Biescas, cuenta con un aforo y una estación meteorológica, por lo que la variable PRD se sitúa en el rango de valor 1.

Tabla 134. Rango y valor de la variable PRD en Biescas. *(Elaboración propia)*.

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

D. Luis Estaún, alcalde del municipio, dijo no conocer el plan de actuación comarcal del Alto Gállego (aunque sabe de su existencia) ni informes hidrológicos. Por tanto, la variable PRV adopta el valor 2. Cabe destacar que, por curiosidad propia, sí es conocedor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

Tabla 135. Rango y valor de la variable PRV en Biescas. *(Elaboración propia)*.

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

En cuanto a actividades de educación en el riesgo, el alcalde aseguró que no se realizan porque hay concienciación: “a pesar de la fuerte regulación, todas las generaciones han vivido episodios de avenidas”. Así pues, confiando en esa concienciación, la variable EDU se sitúa en Biescas en el rango de valor 4.

Tabla 136. Rango y valor de la variable EDU en Biescas. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Para terminar, el alcalde se declaró no conocedor en profundidad del Plan General de Ordenación Urbana, aunque sabía que hay restricciones de uso y que no se han delimitado las zonas inundables como tal. Dijo que siempre se ha aplicado un criterio de urbanización racional y, en algunos casos, la Confederación Hidrográfica del Ebro les ha corregido con recomendaciones.

Tras analizar los documentos de 2010 y 2001 (consultados, respectivamente, en la web del ayuntamiento y en el BOA correspondiente (BOA nº128 de 2003)), no se encontró ninguna referencia a riesgos naturales, ni riesgo de inundación, ni cartografía con la correspondiente línea de 500 años. Por tanto, la variable PLU presenta la máxima vulnerabilidad, adquiriendo el valor 5.

Tabla 137. Rango y valor de la variable PLU en Biescas. *(Elaboración propia)*.

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

Con todo lo hasta aquí presentado, se resumen los resultados obtenidos para la vulnerabilidad en Biescas en la Tabla 138.

Tabla 138. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Biescas. *(Elaboración propia)*.

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	1	2	1	2	4	5

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(4+4+1+4)]*[0,4*(1+1+2+1+2+4+5)]= 6,66$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(3+4+1+4)]*[0,4*(1+1+2+1+2+4+5)]= 12,29$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(3+4+1+4)]*[0,4*(1+1+2+1+2+4+5)]= 18,43$$

- Peligrosidad muy alta (T=10 años)

$$IR=0,4*4*[0,2*(3+4+1+4)]*[0,4*(1+1+2+1+2+4+5)]= 24,58$$

Tabla 139. Índices de riesgo en Biescas. *(Elaboración propia).*

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
6,66	12,29	18,43	24,58

3.2.7. RÍO GÁLLEGO: SABIÑÁNIGO

Sólo se realizó una visita al municipio, en la cual se mantuvo la entrevista con el alcalde, D. Jesús Lasierra, (Anexo XXVI) y se realizaron las observaciones de campo. Como en Biescas, el número de observadores fue tres, y se establecieron únicamente tres puntos de observación: uno sobre el río Gállego, otro sobre el Aurín, y otro sobre el Tulivana. Las imágenes de su ubicación y de mediciones de distancia del núcleo urbano al cauce se recogen en el Anexo XXVII.

Hay que resaltar aquí una excepción, común a Gurrea de Gállego. La cartografía de la zona inundable correspondiente al nivel de peligrosidad muy alta está incompleta, cortándose justo al pie del embalse de Sabiñánigo, antes de entrar al núcleo urbano. Por tanto, el análisis de las variables de exposición de esta zona inundable carece de sentido, por lo que el estudio de esta localidad se limita a tres niveles de peligrosidad (muy baja, baja y alta). Entre ellos, como ocurría en Castiello de Jaca, Sabiñánigo no presenta cambios de rango en las variables de exposición.

Los tres mapas de usos de suelo en sus zonas inundables se encuentran en el Anexo XXVIII.

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

Sabiñánigo cuenta con 8.837 habitantes y 80,53 ha de suelo urbano. De esta superficie, tan sólo 0,53 ha están incluidas en la zona inundable de peligrosidad muy baja, por lo que los habitantes expuestos son 58. Con esto, la variable PEX se sitúa en el rango de valor 2.

Tabla 140. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

El punto más cercano del núcleo urbano a un cauce es el camping situado junto al río Aurín, a 6,00 m de distancia y 1,50 m de altura. Así, CAC resulta 0,33 (igual que en Villanúa), encontrándose en el rango de valor 3.

Tabla 141. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1

La zona inundable de peligrosidad muy baja en Sabiñánigo abarca 620,68 ha, de las cuales 60,83 se refieren al río Aurín (y sólo graveras) y el resto al Gállego. Existen tres tipos de usos incompatibles: urbano, industrial y deportivo. Estos usos representan el 0,23% del total, por lo que la variable USO adquiere el valor 1.

Tabla 142. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Sabinánigo. *(Elaboración propia).*

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

El resto de zona inundable presenta usos muy diversos: zonas de secano, zonas de regadío permanente, praderas, terrenos principalmente agrícolas, bosques de frondosas (categoría de más superficie), bosques de coníferas, bosques mixtos, pastizales naturales, vegetación esclerófila, matorral boscoso de transición, arenales (graveras), roquedo, zonas con escasa vegetación y láminas de agua. Tres de estas categorías no llegan a suponer el 0,05% de la superficie total, por lo que no aparecen representadas en la Figura 77. Se trata de las zonas industriales, el roquedo y las zonas con escasa vegetación. De las restantes, el uso urbano es la de menor extensión.

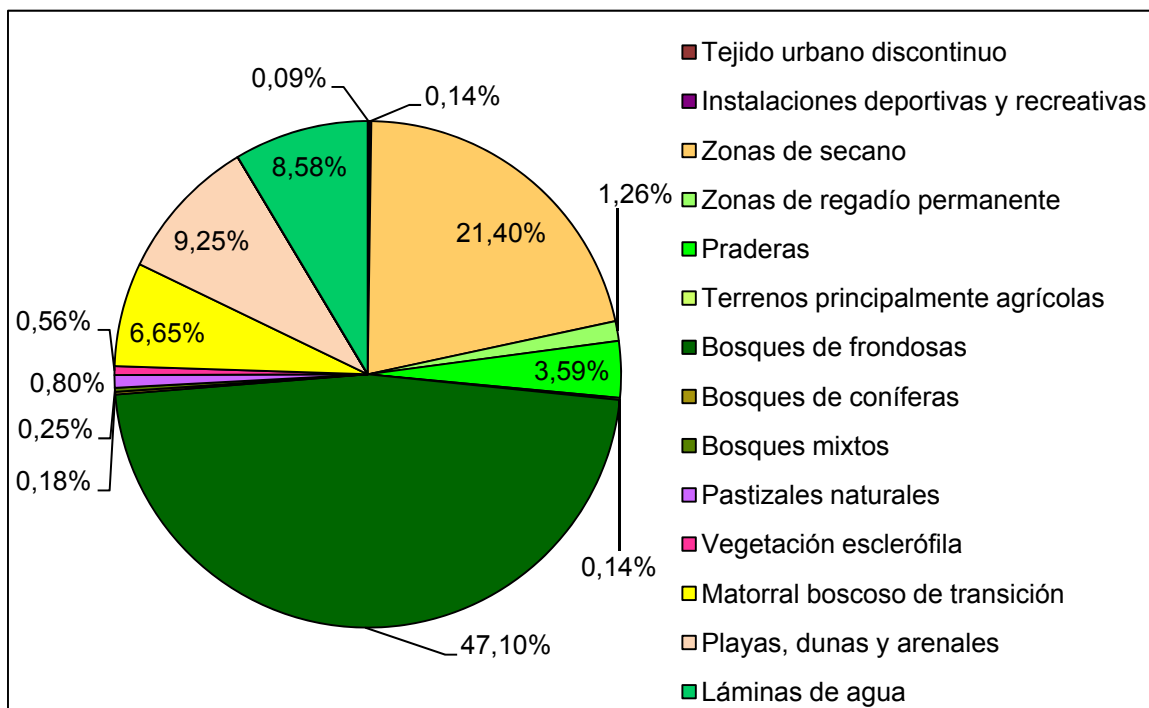


Figura 77. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Sabinánigo. *(Elaboración propia).*

En cuanto a infraestructuras lineales expuestas, Sabiñánigo es una de las dos únicas localidades que presentan el máximo de exposición: red de saneamiento, abastecimientos de agua y de luz, gasoducto e infraestructuras viarias (red ferroviaria y N-260). Así, la variable INF toma el valor 5.

En la Tabla 143 se recogen los valores finales otorgados a las diferentes variables en este apartado.

Tabla 143. Valores de las variables de exposición en Sabiñánigo para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
2	3	1	5

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

La superficie urbana en esta zona inundable disminuye a 0,39 ha, por lo que los habitantes expuestos son 42, dato que hace que PEX continúe en el rango de valor 2.

Tabla 144. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad baja en Sabiñánigo. *(Elaboración propia).*

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

CAC permanece constante por su carácter independiente de la zona inundable e INF no presenta diferencias respecto al nivel de peligrosidad anterior, por lo que ambas siguen presentando los valores 3 y 5, respectivamente.

Esta zona inundable ocupa 570,85 ha, de las cuales 57,78 se refieren al Aurín. Se mantienen las tres categorías de usos incompatibles, aunque reducen su porcentaje al 0,15%. Así pues, la variable USO continúa situándose en el rango de valor 1 (menos del 20%).

Las restantes categorías también siguen presentes, excepto “zonas con escasa vegetación” y “roquedo”, que desaparecen. En el gráfico de categorías de usos de suelo de esta zona inundable (Figura 78) no aparecen representadas las zonas industriales, por su ínfima superficie. Además, el bosque de frondosas sigue siendo la categoría de mayor extensión y el uso urbano, la de menor.

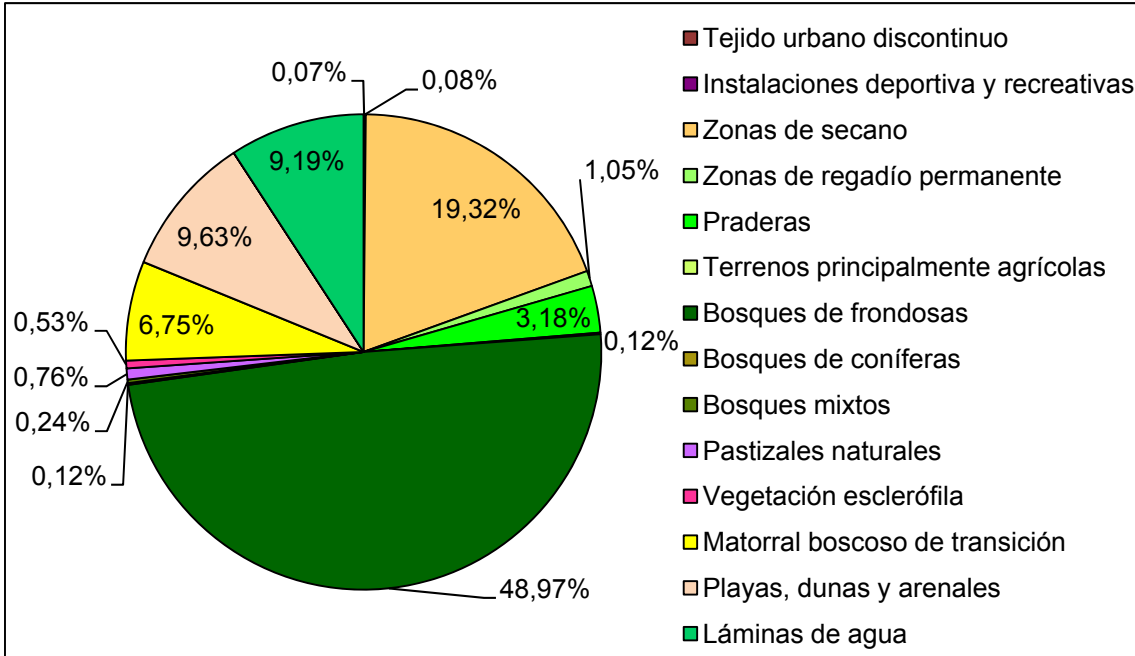


Figura 78. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Sabiñánigo. (Elaboración propia).

Tabla 145. Valores de las variables de exposición en Sabiñánigo para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). (Elaboración propia).

PEX	CAC	USO	INF
2	3	1	5

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

El suelo urbano abarca aquí 0,32 ha, superficie ligeramente más pequeña que en el nivel de peligrosidad anterior (0,39 ha). Esta extensión hace que el número de habitantes expuestos sea 35. Así, la variable PEX se mantiene en el rango de valor 2 (entre 25 y 100 personas expuestas).

Por su parte, CAC e INF también continúan en los rangos respectivos de valor 3 y 5, y USO en el de valor 1, aunque esta sigue presentando cambios.

Esta zona inundable ocupa un total de 544,56 ha, de las cuales sólo 1,85 pertenecen a la zona inundable del río Aurín. También aquí se mantienen las tres categorías de usos incompatibles (urbano, industrial y deportivo), aunque su porcentaje sobre el total disminuye ligeramente hasta el 0,13% (frente al 0,15% del nivel de peligrosidad anterior). El resto de categorías se mantiene, a excepción del roquedo, que desaparece. En este caso, la única que no aparece representada en el gráfico es “zonas industriales”, pues su superficie no alcanza las 0,05 ha. Nuevamente, se repiten las categorías de mayor y menor superficie sobre el total de la zona inundable: los bosques de frondosas y el tejido urbano discontinuo, respectivamente.

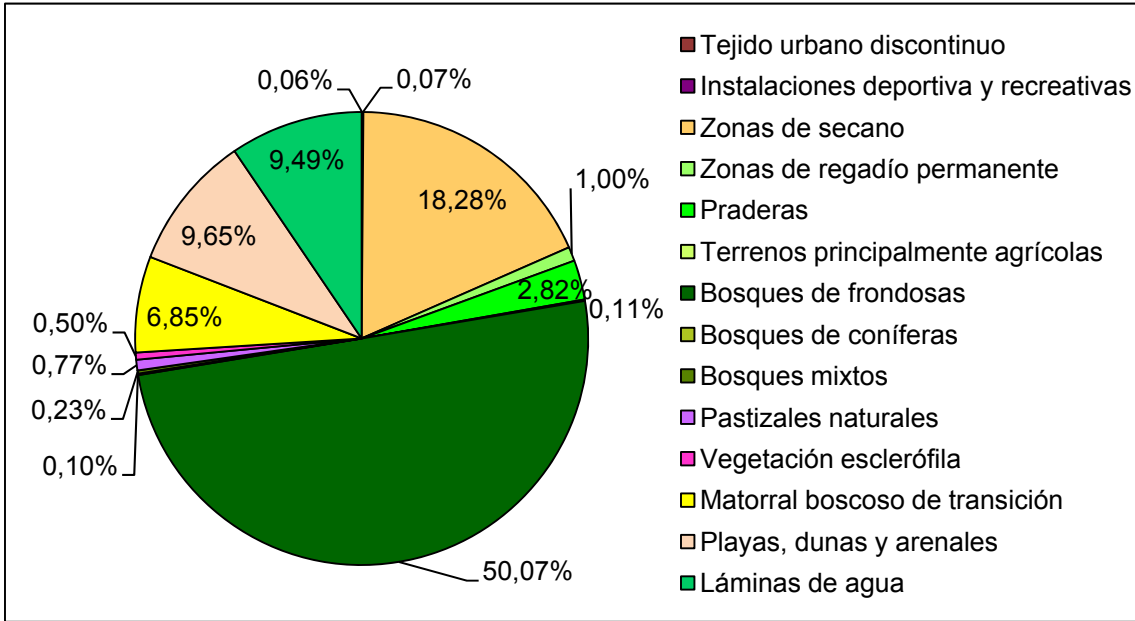


Figura 79. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Sabiñánigo. (Elaboración propia).

Así, los valores finales otorgados a cada una de las variables de exposición en este nivel de peligrosidad (peligrosidad alta), recogidos a modo de resumen en la Tabla 146, coinciden con los otorgados en los dos niveles anteriores (peligrosidad baja y muy baja). Por su parte, la Tabla 147 resume los resultados obtenidos en cada variable de cada nivel de peligrosidad y los valores finales otorgados.

Tabla 146. Valores de las variables de exposición en Sabiñánigo para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). (Elaboración propia).

PEX	CAC	USO	INF
2	3	1	5

Tabla 147. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Sabiñánigo según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia)*.

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	58	2
	CAC	0,33	3
	USO	0,23%	1
	INF	5	5
Peligrosidad baja T=100	PEX	42	2
	CAC	0,33	3
	USO	0,15%	1
	INF	5	5
Peligrosidad alta T=50	PEX	35	2
	CAC	0,33	3
	USO	0,13%	1
	INF	5	5

- Variables de vulnerabilidad.

En primer lugar, la variable MEC presenta el valor 1, como en todas las localidades, por la buena cobertura de medios y recursos que garantiza el PLATEAR.

En cuanto a PRO, no se observó ningún tipo de obra de protección, ni frente a inundaciones (diques y motas) ni contra la erosión de las orillas (muros y escolleras). El alcalde, durante la entrevista, sí hizo referencia a un tramo de escollera realizado en el río Aurín para la protección de la toma de agua.

Como en Biescas, el embalse de referencia es el de Búbal, que regula 605,50 km² de cuenca vertiente. Desde el pie de este embalse hasta la localidad de Sabiñánigo se han medido 343,18 km², lo que hace que la superficie de cuenca regulada represente el 63,83% del total de cuenca vertiente. Así, la variable REG adquiere el valor 3, como en Villanúa.

Tabla 148. Rango y valor de la variable REG en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

Este embalse es la única actuación antrópica que puede causar efectos negativos aguas abajo. No existen canalizaciones, ni estrechamientos de cauce, ni impermeabilizaciones de cauce y/o cuenca.

El tiempo de reacción en Sabiñánigo es el más alto de todos los analizados hasta ahora: 4h55min (295,35 min). Este dato hace que la variable TDR adopte el valor 1, que aún no se había dado entre las localidades estudiadas.

Tabla 149. Rango y valor de la variable TDR en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Tabla 150. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
1.962	755	1.207	44.374	0,027	295,35

En cuanto a sistemas de predicción disponible, en el cauce del río Gállego existe un aforo inmediatamente aguas arriba del núcleo urbano de Sabiñánigo, y la estación meteorológica más cercana sigue siendo la de Búbal, situada ahora a 22,20 km aguas arriba. Así pues, la variable PRD se sitúa en el rango de nivel 2, como ocurre en Canfranc-Estación, Castiello de Jaca y Jaca.

Tabla 151. Rango y valor de la variable PRD en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

Cabe destacar que D. Jesús Lasierra, alcalde del municipio, en el momento de la entrevista no conocía informes hidrológicos ni planes de actuación. Por tanto, la variable PRV adquiere el valor 2, como en todas las localidades estudiadas a excepción de Castiello de Jaca (que presenta el valor 1).

Tabla 152. Rango y valor de la variable PRV en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

En lo referido a actividades de educación en el riesgo, el alcalde dijo que no se llevan a cabo por no contemplarse el riesgo, pues las afecciones por avenidas suelen referirse tan sólo a caminos de acceso a determinadas localidades. Este enfoque hace que la variable EDU se sitúe en el rango de valor 5.

Tabla 153. Rango y valor de la variable EDU en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Para terminar, durante la entrevista D. Jesús Lasierra dijo no ser conocedor del planeamiento urbano en profundidad pero creía que no había referencias al riesgo de inundación como tal ni a límites de zonas inundables. Sin embargo, el análisis del Plan General de Ordenación Urbana permitió ver que es el más completo de los tratados en este estudio.

En la Memoria, el suelo no urbanizable es clasificado en tres tipos: “según el artículo 20 de la Ley Urbanística de Aragón”, “según las directrices parciales de ordenación territorial del Pirineo aragonés” y “suelo no urbanizable de protección a los riesgos naturales”, como condicionante superpuesto a las Áreas de Gestión Homogénea.

En el segundo tipo, el punto 2.2.9. se refiere a los cauces fluviales y láminas de agua: “son superficies ocupadas por cursos de agua, permanentes o estacionales, incluyendo sus canales de estiaje y de inundación; así como las superficies acuáticas de carácter no lineal, de origen natural o artificial”. Esta definición da lugar al “suelo no urbanizable especial de protección a los recursos hídricos”.

Además, en las Normas Urbanísticas Reguladoras, en todas las fichas descriptivas de sectores se dice: “Previamente a la aprobación del Plan Parcial se analizarán los riesgos de inundación y se adoptarán las medidas adecuadas con arreglo a lo previsto en la legislación de Protección Civil al efecto.”

Por último, varios artículos de este tomo recogen el riesgo de inundación:

Art.228.3. Suelo no urbanizable de protección a los recursos hídricos: “En todo caso, la solicitud de autorización señalada en el punto anterior irá acompañada de un Análisis de Riesgos de Inundaciones”.

Art.237. Vivienda unifamiliar: “Se permitirán únicamente en ubicaciones en las que no exista un índice de riesgos alto por causas naturales (zonas inundables, zonas boscosas con riesgos de incendios forestales, etc.) en aquellas Áreas Homogéneas en que esté permitido”.

Art.239. Hotelero, campings o acampadas con servicios. “Si se ubican en las cercanías de ríos y arroyos, quedarán fuera de la zona inundable de máxima crecida, debidamente constatada mediante la aportación de un Análisis de Riesgos redactado por técnico competente”.

Con todo esto, y la existencia de cartografía pertinente, se cree que el PGOU es poco mejorable, por lo que a la variable PLU se le otorga el valor 1.

Tabla 154. Rango y valor de la variable PLU en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

En la Tabla 155 se resumen los resultados obtenidos para las diferentes variables de vulnerabilidad en Sabiñánigo.

Tabla 155. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Sabiñánigo. *(Elaboración propia)*.

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	3	1	2	2	5	1

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(2+3+1+5)]*[0,4*(1+3+1+2+2+5+1)]= 5,28$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(2+3+1+5)]*[0,4*(1+3+1+2+2+5+1)]= 10,56$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(2+3+1+5)]*[0,4*(1+3+1+2+2+5+1)]= 15,84$$

Tabla 156. Índices de riesgo en Sabiñánigo. *(Elaboración propia).*

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta
5,28	10,56	15,84

3.2.8. RÍO GÁLLEGO: GURREA DE GÁLLEGO

Se realizaron dos visitas a la localidad. La primera el 24 de marzo de 2015 y la segunda el 24 de junio de 2015, con tres y dos observadores. En la primera se mantuvo la entrevista con el alcalde, D. Carlos Til, que se recoge en el anexo XXIX, y se efectuaron las observaciones pertinentes, que fueron complementadas con la visita de junio. Se estableció un total de 15 puntos de observación: 5 sobre el río Gállego y 10 sobre el río Sotón. Las imágenes de su ubicación y de mediciones de distancia del núcleo urbano al cauce se recogen en el Anexo XXX.

Como en Sabiñánigo, cabe destacar la excepción que aquí se da. La cartografía de la zona inundable correspondiente al nivel de peligrosidad muy alta está incompleta, pues sólo existe desde aguas abajo de la confluencia del Sotón con el Gállego, una vez abandonado el núcleo urbano. Por tanto, el análisis de las variables de exposición de esta zona inundable carece de sentido, por lo que el estudio de esta localidad se limita a tres niveles de peligrosidad (muy baja, baja y alta). Entre ellos, como en Castiello de Jaca y en Sabiñánigo, las variables de exposición no presentan cambios de rango.

Los tres mapas de usos de suelo en sus zonas inundables se recogen en el Anexo XXXI.

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años).

La población de Gurrea de Gállego es de 1.066 habitantes y cuenta con 37,40 ha de suelo urbano. De esta superficie, tan sólo 1,91 ha están incluidas en la zona inundable de peligrosidad muy baja, por lo que los habitantes expuestos son 54. Con esto, la variable PEX se sitúa en el rango de valor 2, como en Villanúa y Sabiñánigo.

Tabla 157. Rango y valor de la variable PEX para un nivel de peligrosidad muy baja en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

PEX	>500 personas expuestas	5
	200-500 personas expuestas	4
	100-200 personas expuestas	3
	25-100 personas expuestas	2
	<25 personas expuestas	1

Toda esta superficie urbana en zona inundable se refiere al río Sotón, más próximo al núcleo urbano en altura y distancia. El punto más cercano son las viviendas de la margen derecha a la izquierda del puente de entrada al núcleo urbano. Están situadas a 8,00 m de distancia al cauce y 2,50 m de altura, datos con los que CAC resulta 0,22, correspondiente al rango de valor 2 (igual que en Jaca).

Tabla 158. Rango y valor de la variable CAC para un nivel de peligrosidad muy baja en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

CAC	> 0,50	5
	0,37-0,50	4
	0,25-0,37	3
	0,12-0,25	2
	< 0,12	1



Figura 80. Viviendas en la margen derecha del Sotón, a la izquierda del puente de entrada a Gurrea de Gállego. *(Foto propia).*

La zona inundable de peligrosidad muy baja en Gurrea de Gállego abarca 763,00 ha, de las cuales 38,04 se refieren al río Sotón y el resto al Gállego. Existen dos tipos de usos incompatibles: urbano e industrial, si bien este último, por su escasa superficie (0,01 ha) no supone ningún porcentaje sobre el total de la zona inundable y no aparece representado en el gráfico. El porcentaje de usos incompatibles es del 0,25%, por lo que la variable USO adquiere el valor 1.

Tabla 159. Rango y valor de la variable USO para un nivel de peligrosidad muy baja en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia).*

USO	>50%	5
	40-50%	4
	30-40%	3
	20-30%	2
	<20%	1

En la restante zona inundable aparecen zonas de secano, zonas de regadío permanente (máxima superficie), bosques de frondosas, vegetación esclerófila, matorral boscoso de transición y cursos de agua.

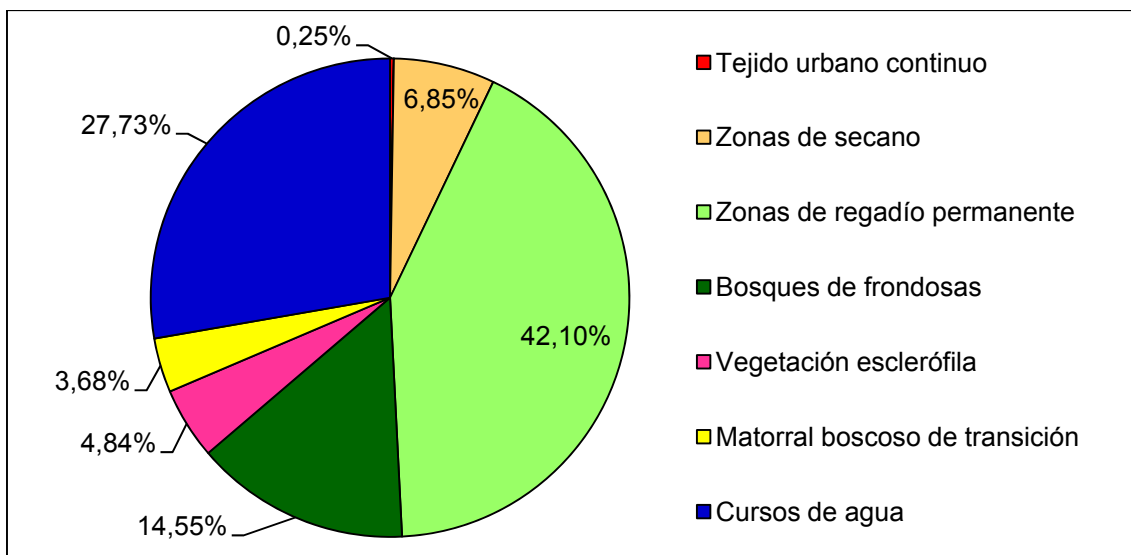


Figura 81. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años) en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

Por otro lado, Gurrea de Gállego es, junto a Sabiñánigo, la única localidad que presenta el máximo de exposición: red de saneamiento, abastecimientos de agua y de luz, gasoducto e infraestructuras viarias (A-1209). Así, la variable INF toma el valor 5.

En la Tabla 160 se recogen los valores finales otorgados a las diferentes variables en este apartado.

Tabla 160. Valores de las variables de exposición en Gurrea de Gállego para un nivel de peligrosidad muy baja (T=500 años). *(Elaboración propia)*.

PEX	CAC	USO	INF
2	2	1	5

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años).

El suelo urbano de esta zona inundable tiene una extensión de 1,65 ha, por lo que los habitantes expuestos se reducen a 47, dato que mantiene a la variable PEX en el rango de valor 2 (25-100 personas).

CAC, INF y USO también se mantienen en sus respectivos rangos, de valores 2, 5 y 1, y sólo USO presenta cambios.

En esta zona inundable desaparece por completo la zona industrial, y el suelo urbano pasa a suponer el 0,24% de la superficie total (1,65 ha de las 692,37 totales). La zona inundable correspondiente al río Sotón ocupa una superficie de 34,35 ha. El resto de categorías continúan presentes, manteniéndose las zonas de regadío permanente como el uso mayoritario.

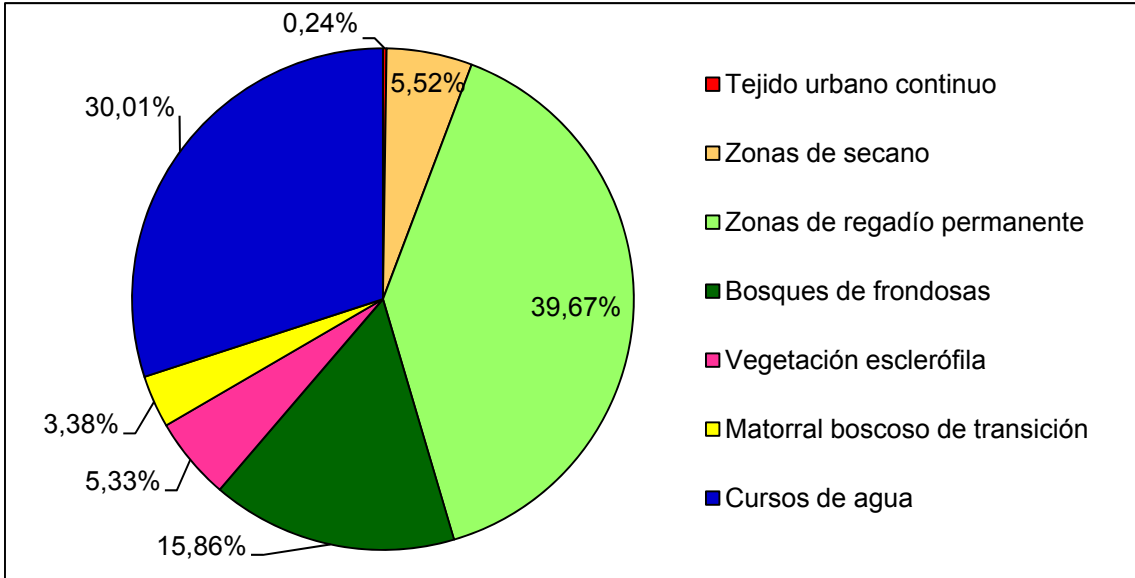


Figura 82. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad baja (T=100 años) en Gurrea de Gállego. (Elaboración propia).

Tabla 161. Valores de las variables de exposición en Gurrea de Gállego para un nivel de peligrosidad baja (T=100 años). (Elaboración propia).

PEX	CAC	USO	INF
2	2	1	5

- Variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años).

La zona inundable correspondiente a este nivel de peligrosidad ocupa 1,48 ha de suelo urbano, que implican 42 habitantes expuestos (5 menos que en el nivel de peligrosidad anterior). La variable PEX sigue, por tanto, situándose en el rango de valor 2 (entre 25 y 100 habitantes expuestos).

Por su parte, CAC e INF también continúan en los rangos respectivos de valor 2 y 5, y USO en el de valor 1, aunque esta sigue presentando cambios.

Esta zona inundable ocupa un total de 636,85 ha, de las cuales 31,63 pertenecen a la zona inundable del río Sotón. Los usos incompatibles representan ahora el 0,23%. También en este nivel de peligrosidad se mantiene la presencia del resto de categorías y siguen destacando las zonas de regadío permanente por ser el uso de mayor extensión, como se puede observar en la Figura 83.

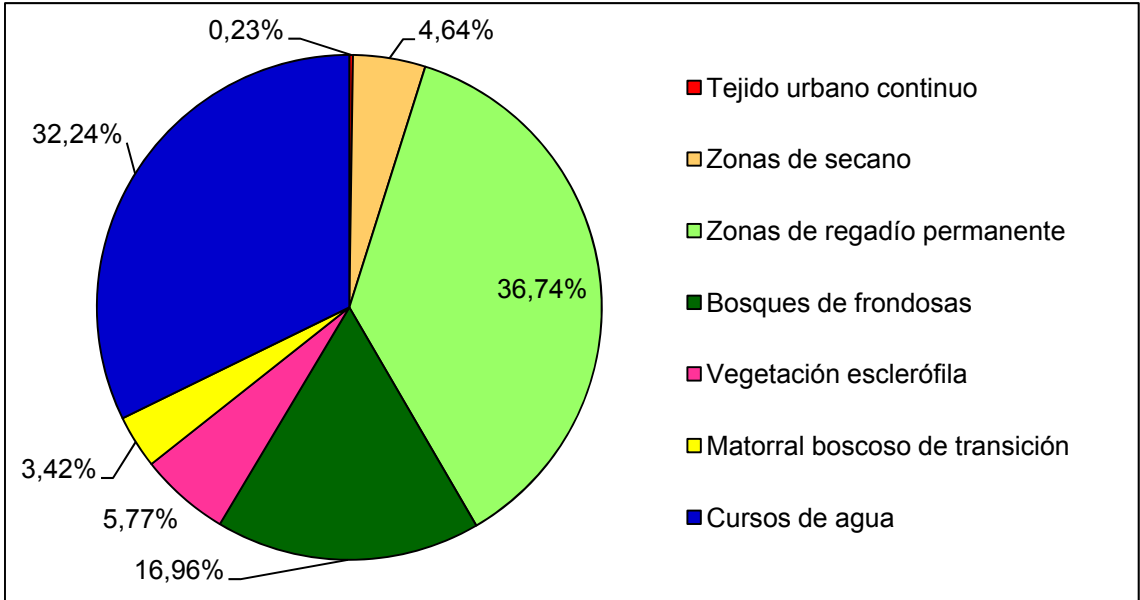


Figura 83. Usos de suelo en la zona inundable correspondiente a un nivel de peligrosidad alta (T=50 años) en Gurree de Gállego. *(Elaboración propia).*

La Tabla 162 recoge los valores finales de las variables de exposición para un nivel de peligrosidad alta y la Tabla 163, el resumen de resultados obtenidos en cada variable de cada nivel de peligrosidad y los valores finales otorgados.

Tabla 162. Valores de las variables de exposición en Gurree de Gállego para un nivel de peligrosidad alta (T=50 años). *(Elaboración propia).*

PEX	CAC	USO	INF
2	2	1	5

Tabla 163. Resultados obtenidos para cada variable de exposición en Gurrea de Gállego según niveles de peligrosidad y valores otorgados. *(Elaboración propia)*.

Peligrosidad muy baja T=500	PEX	54	2
	CAC	0,22	2
	USO	0,25%	1
	INF	5	5
Peligrosidad baja T=100	PEX	47	2
	CAC	0,22	2
	USO	0,24%	1
	INF	5	5
Peligrosidad alta T=50	PEX	42	2
	CAC	0,22	2
	USO	0,23%	1
	INF	5	5

- Variables de vulnerabilidad.

Como en todas las localidades, la variable MEC presenta el valor 1, por la buena cobertura de medios y recursos que garantiza el PLATEAR.

A lo largo del recorrido del Gállego por el municipio, existen varios tramos con escolleras puntuales, que constituyen la única obra de protección existente.

Por otro lado, el embalse del río Gállego más cercano a Gurrea es el de Ardisa. Tiene una capacidad de 5,00 hm³ y regula 2.051,00 km² de cuenca. Entre este embalse y Gurrea se han medido 134,12 km². Por otro lado, el río Sotón (que desemboca en el Gállego en Gurrea) cuenta con 385,00 km² de cuenca vertiente y con un embalse, el de La Sotonera, de 189,00 hm³ y que regula 300,00 km². Así, el sumatorio de cuenca regulada resulta 2.351,00 km², y el de no regulada, 219,12 km². Por tanto, el porcentaje de cuenca regulada asciende al 91,47%, situando a la variable REG en el rango de valor 1.

Tabla 164. Rango y valor de la variable REG en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

REG	<25%	5
	25-50%	4
	50-70%	3
	70-90%	2
	>90%	1

Además de este embalse, cercana al núcleo urbano existe una pequeña represación que desvía caudales al canal de la central hidroeléctrica. También hay tramos con cauce impermeabilizado, aunque no aparecen impermeabilizaciones de cuenca, ni canalizaciones, ni estrechamientos.



Figura 84. Represación para el desvío de caudal hacia el canal de la central hidroeléctrica en Gurrea de Gállego. *(Foto de Daniel Bellosta)*.

Respecto al río Gállego, el tiempo de reacción en Gurrea de Gállego es, por mucho, el más elevado de las ocho localidades estudiadas. Supera ligeramente las 18 horas (1.081,59min), por lo que la variable TDR se sitúa en el rango de menor vulnerabilidad, de valor 1 (sólo alcanzado en Biescas).

Tabla 165. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para el tiempo de reacción respecto al río Gállego en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
1.962	322	1.640	151.209	0,011	1.081,59

Tabla 166. Rango y valor de la variable TDR en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

TDR	<60 min	5
	60-90 min	4
	90-120 min	3
	120-240 min	2
	>240 min	1

Además, aunque no se evalúa por ser más relevante el río Gállego, el tiempo de reacción en Gurrea respecto al río Sotón es de casi siete horas (419,06min). Los factores de la fórmula de Kirpich se recogen en la Tabla 166.

Tabla 167. Factores y resultado de la fórmula de Kirpich obtenidos para el tiempo de reacción respecto al río Sotón en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	H (m)	L (m)	S (m)	Tc (min)
1.178	322	856	53.571	0,016	419,06

Por otra parte, en Ardisa se sitúan los sistemas de predicción más cercanos aguas arriba a Gurrea de Gállego (27,60 km): un aforo y una estación meteorológica. Así, la variable PRD adquiere el valor 3 (ver Tabla 168).

Tabla 168. Rango y valor de la variable PRD en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

PRD	Cuenca no aforada y sin estaciones meteorológicas; o hay aforos y/o estaciones meteorológicas a más de 40 km aguas arriba.	5
	Hay aforos o estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	4
	Hay aforos y estaciones meteorológicas entre 40 y 20 km aguas arriba.	3
	Hay aforos o estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	2
	Hay aforos y estaciones meteorológicas a menos de 20 km aguas arriba.	1

D. Carlos Til no sabía de la existencia de planes de actuación (a pesar de que Gurrea de Gállego cuenta hasta con uno municipal) ni de informes hidrológicos, si bien me remitió a la Oficina del Regante por saber que ellos sí eran conocedores. Esta desinformación en el consistorio hace que la variable PRV adopte el valor 2, como en la casi totalidad de los municipios estudiados.

Tabla 169. Rango y valor de la variable PRV en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

PRV	No existen informes hidrológicos ni planes de actuación	5
	Existe uno de ellos pero no se conoce	4
	Existe uno de ellos y se conoce	3
	Existen y no se conocen	2
	Existen y se conocen	1

En cuanto a actividades de educación en el riesgo, el alcalde declaró que no se realizan porque no se percibe riesgo de inundación: “al Gállego hay distancia y altura, y el Sotón está muy controlado por el embalse de La Sotonera”. Este enfoque lleva a otorgar a la variable EDU el valor 5.

Tabla 170. Rango y valor de la variable EDU en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

EDU	No se realizan porque no se contempla el riesgo	5
	No se realizan pero hay concienciación	4
	“Se realizaron una vez”	3
	“Se realizan ocasionalmente” (frecuencia < 5años)	2
	“Se realizan frecuentemente” (una vez al año o se aborda en colegios)	1

Por último, a pesar de que el alcalde no era conocedor del Plan General de Ordenación Urbana, en proceso de tramitación en el Gobierno de Aragón en el momento de la entrevista, se me dio acceso al borrador. Recogía los riesgos naturales como condicionante para la clasificación del suelo como no urbano, aunque no hacía mención al riesgo de inundación. Además, incluía la cartografía pertinente con la línea de 500 años. Por tanto, la variable PLU adopta el valor 2.

Tabla 171. Rango y valor de la variable PRV en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

PLU	No hay PLU o hay pero no contempla los riesgos naturales para limitar usos	5
	Contempla RN, pero no detalla riesgo de inundación y no hay cartografía	4
	Detalla RI, pero no hay cartografía	3
	No detalla RI, pero hay cartografía	2
	Detalla RI y hay cartografía	1

Tabla 172. Valores finales otorgados a las variables de vulnerabilidad en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia)*.

MCE	REG	TDR	PRD	PRV	EDU	PLU
1	1	1	3	2	5	2

- Los índices de riesgo de inundación.

Con todos los resultados obtenidos y los valores finales presentados, se procede al cálculo de los cuatro índices de riesgo según nivel de peligrosidad.

- Peligrosidad muy baja (T=500 años)

$$IR=0,4*1*[0,2*(2+2+1+5)]*[0,4*(1+1+1+3+2+5+2)]= 4,8$$

- Peligrosidad baja (T=100 años)

$$IR=0,4*2*[0,2*(2+2+1+5)]*[0,4*(1+1+1+3+2+5+2)]= 9,6$$

- Peligrosidad alta (T=50 años)

$$IR=0,4*3*[0,2*(2+2+1+5)]*[0,4*(1+1+1+3+2+5+2)]= 14,4$$

Tabla 173. Índices de riesgo en Gurrea de Gállego. *(Elaboración propia).*

IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta
4,8	9,6	14,4

3.3. INTERPRETACIÓN COMPARATIVA

En este apartado se procede, en primer lugar, a exponer los índices de riesgo de inundación obtenidos en cada localidad según nivel de peligrosidad (Tabla 174). Después se presentan dos metodologías diferentes de clasificación de los índices, estableciendo rangos que permitan designarlos como riesgos altos, medios o bajos. Con esto, se termina comparándolos y así interpretar los resultados de las localidades.

Tabla 174. Resumen de los índices de riesgo de inundación obtenidos en cada localidad según nivel de peligrosidad. *(Elaboración propia)*.

Cuenca	Localidad	IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
Río Aragón	Canfranc-Estación	13,25	25,02	37,54	47,10
	Canfranc-Pueblo	5,47	10,94	16,42	21,89
	Villanúa	5,44	10,88	16,32	21,76
	Castiello de Jaca	3,58	7,17	10,75	14,34
	Jaca	3,81	5,44	8,16	8,70
Río Gállego	Biescas	6,66	12,29	18,43	24,58
	Sabiñánigo	5,28	10,56	15,84	-
	Gurrea de Gállego	4,80	9,60	14,40	-

La primera metodología de clasificación consiste en crear rangos para los valores de los índices de cada nivel de peligrosidad, independientemente de los otros niveles (ver Tablas 175 a 178).

Tabla 175. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad muy baja. *(Elaboración propia)*.

IR peligrosidad muy baja	> 10	ALTO
	5-10	MEDIO
	< 5	BAJO

Tabla 176. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad baja. *(Elaboración propia)*.

IR peligrosidad baja	> 15	ALTO
	10-15	MEDIO
	< 10	BAJO

Tabla 177. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad alta. *(Elaboración propia)*.

IR peligrosidad alta	> 20	ALTO
	15-20	MEDIO
	< 15	BAJO

Tabla 178. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo de peligrosidad muy alta. *(Elaboración propia)*.

IR peligrosidad muy alta	> 25	ALTO
	20-25	MEDIO
	< 20	BAJO

En la Tabla 179 se recogen los resultados de los índices de riesgo de inundación de cada localidad según niveles de peligrosidad aplicando esta clasificación.

Tabla 179. Resultados de los índices de riesgo y clasificación de los mismos mediante rangos de niveles de peligrosidad independientes. *(Elaboración propia)*.

Localidad	IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
Canfranc-Estación	13,25	25,02	37,54	47,10
Canfranc-Pueblo	5,47	10,94	16,42	21,89
Villanúa	5,44	10,88	16,32	21,76
Castiello de Jaca	3,58	7,17	10,75	14,34
Jaca	3,81	5,44	8,16	8,70
Biescas	6,66	12,29	18,43	24,58
Sabiñánigo	5,28	10,56	15,84	-
Gurrea de Gállego	4,80	9,60	14,40	-

Así, en la cuenca del Gállego no hay ninguna localidad estudiada con riesgo alto, y en la del Aragón sólo una: Canfranc-Estación.

Las localidades con riesgo bajo en la cuenca del Aragón son Castiello de Jaca y Jaca; y en la del Gállego, Gurrea de Gállego.

Las cuatro localidades restantes presentan un riesgo medio.

Con esta metodología se obtiene la misma clasificación entre los diferentes niveles de peligrosidad de cada localidad.

El segundo tipo de metodología clasifica los índices de riesgo obtenidos en conjunto, creando rangos independientemente del nivel de peligrosidad a evaluar (ver Tabla 180), con el fin de poder comparar el riesgo de inundación total de las localidades.

Tabla 180. Rangos establecidos para la clasificación de los índices de riesgo independientemente del nivel de peligrosidad. *(Elaboración propia)*.

> 30	MUY ALTO
25 - 30	ALTO
20 - 25	MEDIO-ALTO
15 - 20	MEDIO
10 - 15	MEDIO-BAJO
5 - 10	BAJO
< 5	MUY BAJO

En la Tabla 181 se recogen los resultados de los índices de riesgo de inundación de cada localidad según niveles de peligrosidad aplicando esta clasificación.

Tabla 181. Resultados de los índices de riesgo y clasificación de los mismos mediante rangos independientes del nivel de peligrosidad. *(Elaboración propia)*.

Localidad	IR peligrosidad muy baja	IR peligrosidad baja	IR peligrosidad alta	IR peligrosidad muy alta
Canfranc-Estación	13,25	25,02	37,54	47,10
Canfranc-Pueblo	5,47	10,94	16,42	21,89
Villanúa	5,44	10,88	16,32	21,76
Castiello de Jaca	3,58	7,17	10,75	14,34
Jaca	3,81	5,44	8,16	8,70
Biescas	6,66	12,29	18,43	24,58
Sabiñánigo	5,28	10,56	15,84	-
Gurrea de Gállego	4,80	9,60	14,40	-

Como se desprende de la Tabla 181, las zonas inundables de peligrosidad muy alta y alta ($T= 10$ y 50 años, respectivamente) de Canfranc-Estación son las únicas que presentan un riesgo muy alto. La zona de peligrosidad baja de la misma localidad es también la única con un riesgo alto. Aún con riesgo considerable (riesgo medio-alto), les siguen las zonas de peligrosidad muy alta ($T=10$ años) de Canfranc-Pueblo, Villanúa y Biescas.

El nivel de riesgo medio se da en las zonas de peligrosidad alta ($T=50$ años) de Canfranc-Pueblo, Villanúa, Biescas y Gurrea.

El riesgo pasa a ser medio-bajo en muchas zonas. Cabe destacar el caso de Castiello de Jaca, donde este nivel es el de máximo riesgo, y es común a las dos zonas de mayor peligrosidad.

Hasta aquí Jaca no ha aparecido, y se debe a que sus tres zonas de máxima peligrosidad se sitúan en un nivel de riesgo bajo. Nivel sólo presente en las zonas de mínima peligrosidad ($T=500$ años) de Canfranc-Pueblo, Villanúa, Biescas y Sabiñánigo, y en el de peligrosidad baja ($T=100$ años) de Castiello de Jaca y Gurrea de Gállego.

Por último, las únicas zonas con un nivel de riesgo muy bajo son las de mínima peligrosidad ($T=500$ años) en Castiello de Jaca, Jaca y Gurrea de Gállego.

Un método numérico simple de procesamiento de los resultados obtenidos en la Tabla 181 permite otorgar un valor único de riesgo a cada localidad y, con él, ordenarlas.

Dicho modelo consiste en dar valores de 1 a 7 a los diferentes niveles de riesgo establecidos, siendo el riesgo muy bajo el de valor 1 y el riesgo muy alto el de valor 7. Así, en cada localidad se suman los cuatro valores correspondientes a los cuatro índices de riesgo y se divide entre cuatro (excepto en Sabiñánigo y Gurrea de Gállego, que sólo hay tres índices). Con esto, resulta un índice de riesgo medio de cada localidad.

De esta forma, a continuación se presentan los cálculos y resultados de índices medios de las localidades estudiadas, ordenadas ya de mayor a menor índice medio:

$$\text{- Canfranc-Estación} = (3+6+7+7)/4 = 23/4 = 5,75$$

$$\text{- Canfranc-Pueblo} = (2+3+4+5)/4 = 14/4 = 3,50$$

$$\text{- Villanúa} = (2+3+4+5)/4 = 14/4 = 3,50$$

$$\text{- Biescas} = (2+3+4+5)/4 = 14/4 = 3,50$$

- Sabiñánigo = $(2+3+4)/3 = 3,00$
- Castiello de Jaca = $(1+2+3+3)/4 = 9/4 = 2,25$
- Gurrea de Gállego = $(1+2+3)/3 = 2,00$
- Jaca = $(1+2+2+2)/4 = 7/4 = 1,75$

Como se puede observar por los índices medios de las localidades, en las dos cuencas el riesgo de inundación es mayor en las localidades más próximas a la cabecera de los ríos y disminuye progresivamente aguas abajo.

4. DISCUSIÓN

Todos los objetivos planteados en este trabajo han sido cumplidos satisfactoriamente, si bien han salido a la luz varios aspectos que pueden ser replanteados y mejorados metodológicamente en estudios posteriores.

a) En relación con la cartografía de usos de suelo.

La idoneidad de la cartografía de usos de suelo utilizada, Corine Land Cover, para este tipo de estudios puede ser más que discutida. La necesidad de mayor detalle en la delimitación de los polígonos ha llevado, en muchos casos, a tener que modificar los límites manualmente. Concretamente, esto se ha realizado en los polígonos referidos a usos incompatibles (urbano, deportivo e industrial), metodología también discutible por no retocar los límites de otros polígonos.

Además, las categorías de suelo que aparecen representadas muchas veces no son completamente correspondientes con las que se observan. Por ejemplo, en ocasiones, una misma parcela de cultivos aparece dividida por el límite entre dos polígonos de categorías de usos que poco tienen que ver con las categorías observables en campo y ortofoto.

Otro problema de las categorías es que algunas de ellas son demasiado generalistas, debiéndose detallar después en el análisis a qué se refieren concretamente. Ejemplo de esto sería “311-Bosques de frondosas”, en la que se debería especificar la especie y si son comunidades naturales o plantaciones, “322-Brezales y matorrales”, que en nuestro estudio son tan sólo matorrales o “331-Playas, dunas y arenales”, que aquí se refiere únicamente a arenales (graveras, principalmente cauces secos).

Una posible alternativa a Corine Land Cover es la cobertura SIOSE, disponible en el portal web IDEARAGON.

b) En relación con la variable PEX.

La metodología empleada para su cálculo se basa en la cifra del padrón y en la superficie urbana cartografiada, aplicando una simple regla de tres ("X habitantes en Y hectáreas de urbano"). Es un buen método de aproximación, aunque mejorable.

Por un lado, la superficie incluida en ese procedimiento de cálculo debería ser la estrictamente residencial, es decir, excluir las calles, los parques y jardines, las plazas y edificios de servicios. Esto podría conseguirse mediante la digitalización manual en ArcGis.

Además, para ser un estudio más preciso, se debería llevar a cabo un análisis de la tipología de viviendas (zonas de unifamiliares, bloques de viviendas con determinados pisos, número de habitantes por edificio, etc.) y de la población flotante, es decir, aquella que hace un uso temporal de las viviendas, que debería ser diferenciada en la variable.

c) En relación con la variable PLU.

Además de revisar el contenido del Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de los municipios, este tipo de estudios quedaría más completo si se analizara en profundidad la cartografía de dicho documento. Por ejemplo, se podría estudiar la potencial situación urbanística futura, para ver en qué medida las delimitaciones de zonas urbanizables respetan las directrices del PGOU y en qué áreas puede aumentar la exposición y cuánto. También se pueden consultar las superficies urbanizables de los municipios en el portal web IDEARAGON.

d) Sobre el uso de cartografía de zonas inundables actuales para analizar la situación del año 1956.

Tampoco este método resulta el más apropiado, pues tanto el cauce, como las laderas, los barrancos y el régimen de caudal han podido sufrir modificaciones, variando por tanto las superficies inundables. Sin embargo, en 1956 no se cartografiaban zonas inundables y resulta una tarea muy compleja elaborarla en la actualidad. Por eso, se ha considerado que la cartografía actual puede darse por una aproximación válida para este estudio.

e) En relación con el análisis de afluentes.

Algunas localidades (Jaca, Sabiñánigo y Gurrea de Gállego) presentan una dificultad añadida desde el principio a la hora de analizar el riesgo de inundación, pues en ellas confluyen afluentes de los ríos principales (Aragón y Gállego).

Se ha realizado el análisis conjunto (Aragón y Gas, Gállego y Aurín, Gállego y Sotón), pero sería interesante, en futuros estudios en los mismos casos o en otros, analizar el riesgo de cada uno de los afluentes por separado y observar las diferencias respecto al análisis conjunto.

f) En relación con las entrevistas realizadas.

Los resultados de las entrevistas a los alcaldes de los municipios estudiados (que apenas se explican en el texto, pero se recogen en anexos) llevan a repensar su idoneidad.

Se pensaron con el fin de recoger el conocimiento sobre el riesgo de los consistorios como órganos representativos de los municipios y como responsables de la gestión última de los mismos. Por razones de tiempo, no se planteó realizar encuestas de percepción del riesgo entre los habitantes, pero se considera más pertinente este enfoque que el llevado a cabo; pues además de constatarse el desconocimiento general de los alcaldes, es la totalidad de los habitantes (y la población flotante) la que debería ser conocedora del riesgo.

g) Relativo al método de cálculo del índice.

La totalidad de estudios consultados elabora el índice de riesgo multiplicando los factores (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), por lo que se decidió seguir el mismo método en este, creando además un sistema de ponderación de cada uno de los factores (40% peligrosidad, 20% exposición, 40% vulnerabilidad).

Se otorga más importancia a la vulnerabilidad que a la exposición porque se parte de la base de que, actualmente, al tener poblaciones ya expuestas, lo relevante para reducir el riesgo es minimizar lo máximo posible la vulnerabilidad.

Sin embargo, al realizar los cálculos de los índices de 1956 en Villanúa y ver los resultados, se abrió un debate sobre la idoneidad o no de la multiplicación como método de cálculo del índice.

En 1956 la exposición es bastante menor, pero la vulnerabilidad es mucho mayor, por no existir planes de actuación, informes hidrológicos, sistemas de predicción, ni planeamiento urbano.

Los índices de este año resultan menores a los actuales, aspecto entendible cualitativamente porque las poblaciones no estaban tan expuestas y, por tanto, el riesgo era menor aunque no hubiese métodos de reducción de la vulnerabilidad.

Sin embargo, si el índice funcionase correctamente los índices de riesgo de 1956 deberían ser mayores, pues es significativamente más notable la diferencia entre la vulnerabilidad actual y la de 1956 que entre las exposiciones, y la vulnerabilidad tiene más peso en el índice.

Se decidió entonces experimentar con el índice, manteniendo la ponderación de los factores pero sumándolos en vez de multiplicarlos. De esta manera, el riesgo en 1956 sí resulta superior al actual, pues la ponderación cobra más fuerza y, por tanto, la vulnerabilidad gana protagonismo.

Así, sumando los factores, el índice es coherente con el peso dado a los factores para aplicarlo a diferentes años, pero tampoco es lógico afirmar que el riesgo actual es menor al de 1956.

Quizás la solución a este debate reside en que se deberían aplicar diferentes ponderaciones según el momento estudiado, manteniendo el método de cálculo mediante multiplicación de los factores. Actualmente, las poblaciones están ya expuestas y necesitan reducir la vulnerabilidad, por lo que esta debe ser más importante que la exposición; pero lo relevante en 1956 es que las poblaciones no estaban expuestas, así que la exposición probablemente debería pesar más en el índice.

Esta discusión podría ser abordada con mayor detenimiento en futuros trabajos, para dilucidar cualquier duda sobre la funcionalidad del índice o posibles potenciales del mismo.

5. CONCLUSIONES

- Hay un déficit en índices de riesgos y aplicación de los mismos en el que es necesario trabajar, pues llenar ese vacío facilitará la comprensión de los factores que influyen en los riesgos de cada zona y, en última instancia, la comprensión de los riesgos en sí mismos.
- El área de estudio ha resultado interesante por la presencia de localidades con diferentes niveles de riesgo de inundación dentro de cada cuenca hidrográfica, debidos a sus diversas características.
- A pesar de que ha habido numerosos antecedentes de crecidas en ambos ríos, la mayor parte de los alcaldes no consideran que exista un riesgo del que la población deba estar concienciada.
- Peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, como factores del riesgo, vienen definidas por variables relativas a la relación de la localidad estudiada con la zona inundable y el riesgo: personas e infraestructuras lineales expuestas, cercanía del núcleo urbano al cauce, usos incompatibles en la zona inundable, medios de control y evacuación, regulación de cuenca, tiempo de reacción, sistemas de predicción y prevención, educación en el riesgo y planeamiento urbano.
- Algunas variables, concretamente las consultadas en las entrevistas con los alcaldes, han resultado problemáticas en su aplicación, pues no se ha llegado a elaborar un procedimiento para exponer el grado de conocimiento sobre las variables desde los consistorios (que, generalmente, es escaso).

Este aspecto se debería revisar en el futuro con el fin de encontrar una metodología sólida de evaluación de las mismas que lleve a fortalecer el índice.

- Las metodologías de evaluación de las variables, de confección del índice y de evaluación del mismo son de fácil aplicación y comprensión, lo que amplía el número de destinatarios de trabajos basados en el mismo.

- Los diferentes niveles de riesgo de cada localidad se deben a las diferencias en la peligrosidad (variaciones en la extensión de la zona inundable) y en la exposición (variaciones en los habitantes e infraestructuras lineales expuestas, y en los usos en la zona inundable). Los mismos factores son los que llevan, principalmente, a las diferencias entre las localidades en función del riesgo; la vulnerabilidad es bastante similar en todos los casos.

- Canfranc-Estación es la localidad de mayor riesgo entre las estudiadas, debido a que la mayoría de resultados de las variables se sitúan en los rangos de más valor (a excepción de INF, MCE, PRD, PRV y EDU), es decir: gran número de población expuesta, gran cercanía del núcleo al cauce, elevado porcentaje de usos incompatibles en la zona inundable, nula regulación significativa de cuenca aguas arriba, escaso tiempo de reacción y planeamiento urbano que no considera el riesgo de inundación ni los riesgos naturales en general.

- En Villanúa se ha estudiado también la situación en el año 1956 y se ha comprobado cómo el riesgo ha aumentado en la actualidad debido al incremento en la exposición, principalmente por expandir el núcleo urbano y aproximarlos al río.

- Los resultados satisfactorios obtenidos llevan a pensar que el índice de riesgo diseñado pueda ser aplicado a otras zonas de estudio.

- El índice puede tener un gran potencial como herramienta de concienciación y divulgación del riesgo de inundación, así como herramienta de apoyo en la evaluación de proyectos, en la elaboración de planes de actuación y en los análisis post-inundación.

- Además del índice, la cartografía de usos de suelo en zonas inundables resulta clave para la concienciación y divulgación del riesgo de inundación, por facilitar la comprensión, y debería ser de conocimiento generalizado para la población afectada.

- Actualmente, con la exposición existente, para hacer frente a la peligrosidad es necesario minimizar la vulnerabilidad, mejorando los planeamientos urbanos y la educación en el riesgo.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, a Alfredo Ollero, director principal de este trabajo. Por aceptar dirigirme, por apoyarme, animarme y re-conducirme cuando mi trabajo se entorpecía, a cualquier hora, de cualquier día, de cualquier mes. GRACIAS. También por confiar en mí como lo ha hecho e integrarme en su equipo de investigación, por darme la oportunidad de publicar un poster junto a ellos en el II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial (RestauraRíos 2015, Pamplona).

Por tanto, gracias también a todos los autores de ese poster por darme cabida. Especialmente a Daniel Mora, ya que, sin tener ningún tipo de obligación conmigo, me ha ayudado a plantear soluciones a los problemas que han ido surgiendo respecto a la metodología de elaboración cartográfica de este trabajo.

A los alcaldes de los ocho municipios incluidos en este estudio – D. Fernando Sánchez, D. Luis Terrén, D. Álvaro Salesa, D. Juan Manuel Ramón, D. Luis Estaún, D. Jesús Lasiera y D. Carlos Til – por dedicarme una parte de su tiempo para llevar a cabo las entrevistas.

A la Comarca de La Hoya de Huesca y a la Comarca del Alto Gállego, por procesar mis pedidos de información sobre protección civil con agilidad. A Roberto Cebollero y a Emilio Leo.

A todos mis acompañantes en las observaciones de campo.

A mis amigas, las de siempre – Esther, Gloria, Ivonne, Sandra y Violeta –, por escucharme y apoyarme en los momentos de desánimo, y por compartir los de alegría.

A mis ambientólogas – Ana, Bea, Belén, Chama, Lucía, María, Oihane –, lo mejor que me han dado los cinco años en esta facultad. Un recuerdo especial también para el resto de compañeros de promoción, con los que he recorrido este camino universitario.

A Dani y a mis padres, M^aÁngeles y Ricardo, por la ayuda, la escucha y, sobretodo, por el tiempo robado y el extra de paciencia que habéis tenido con mis vaivenes de carácter debidos al trabajo todos estos meses.

Por último, si a alguien debería pedirle perdón por el tiempo robado sería a mi abuela. No lo podrá ver terminado, pero este trabajo va especialmente por ella.

BIBLIOGRAFÍA

- Acín, V., Ballarín, D., Brufao, P., Domenech, S., Espejo, F., González-Hidalgo, J.C., Granado, D., Ibisate, A., Marcén, C., Mora, D., Nadal, E., Ollero, A., Sánchez Fabre, M., Saz, M.A. y Serrano, R. (2012). Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos. *Geographica*, 61: 101-128.
- Aguirre, G. (2005). La valoración de los riesgos en la ordenación del territorio: metodología práctica. *Boletín de la A.G.E.*, 40: 393-405.
- Anselmo, V., Galeati, G., Palmieri, S., Rossi, U. and Todini, E. (1996). Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modelling approach: a case study. *Journal of Hydrology*, 175: 533-554.
- Apel, H., Aronica, G.T., Kreibich, H. and Thieken, A.H. (2009). Flood risk analyses - how detailed do we need to be? *Natural Hazards*, 49: 79-98.
- Aragón. Decreto 109/1995, de 16 de mayo, de la Diputación General de Aragón, por el que se aprueba el Plan Territorial de Protección Civil de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.62, de 25 de mayo de 1995, pp.2194-2212. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=466655823932>, [26.08.15].
- Aragón. Orden de 30 de abril de 1996, del Departamento de Presidencia y Relaciones Internacionales, por la que se desarrolla la regulación de los Planes de Emergencia de Protección Civil de ámbito municipal, supramunicipal o comarcal, y de medidas de fomento. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.55, de 15 de mayo de 1996, pp.2215-2223. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=460054621311>, [26.08.15].
- Aragón. Ley 30/2002, de 17 de diciembre, de protección civil y atención de emergencia de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.151, de 30 de diciembre de 2002, pp.11357-11370. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=178904125552>, [26.08.15].
- Aragón. Corrección de errores de la Ley 30/2002, de 17 de diciembre, de protección civil y atención de emergencias de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.2, de 8 de enero de 2003, p.996. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=396295411313>, [26.08.15].

- Aragón. Ley 15/2003, de 17 de marzo, de reforma de la Ley 30/2002, de 30 de diciembre, de Protección Civil y Emergencias de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.36, de 28 de marzo de 2003, pp.4040-4041. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=178686940336>, [26.08.15].
- Aragón. Ley 4/2004, de 22 de junio, de Modificación de la Ley 30/2002, de 17 de diciembre, de Protección Civil y Atención de Emergencias de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm. 82, de 14 de julio de 2004, pp.6838-6840. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=178629533205>, [26.08.15].
- Aragón. Decreto 94/2005, de 10 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se regula la organización y funcionamiento de la Comisión de Protección Civil de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.61, de 23 de mayo de 2005, pp.6295-6296. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=43195593434>, [26.08.15].
- Aragón, Decreto 237/2006, de 4 de diciembre, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil de Emergencias por Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.146, de 22 de diciembre de 2006, pp. 16560-16593. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=165632235050>, [26.08.15].
- Aragón. Decreto Legislativo 1/2006, de 27 de diciembre, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Comarcalización de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm. 149, de 30 de diciembre de 2006, pp. 17220-17237. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=167403580404>, [26.08.15].
- Aragón. Decreto 24/2010, de 23 de febrero, del Gobierno de Aragón, por el que se regula la estructura y organización del Registro de Planes de Protección Civil de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.46, de 8 de marzo de 2010, pp.6461-6462. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=507922115757>, [26.08.15]

- Aragón. Decreto 220/2014, de 16 de diciembre, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba en Plan Territorial de Protección Civil de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, núm.253, de 26 de diciembre de 2014, pp.40697-40810. Consultado online en <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=828392642323>, [26.08.15]
- Aragón. Ayuntamiento de Biescas. Plan General de Ordenación Urbana. Boletín Oficial de Aragón, núm.128, de 6 de junio de 2003, pp.1837-1876. Consultado online en http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VERDOC&BASE=BZHT&PIECE=BOPH&DOCS=1-21&DOCR=1&SEC=BUSQUEDA_FECHA&RNG=200&SEPARADOR=&SECC=C=HUESCA&PUBL-C=20030606&PUBL=&@PUBL-E=, [14.10.15]
- Arduino, G., Reggiani, P. and Todini, E. (2005). Recent advances in flood forecasting and flood risk assessment. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9(4): 280-284.
- Arnaud-Fassetta, G., Astrade, L., Bardou, E., Corbonnois, J., Delahaye, D., Fort, M., Gautier, E., Jacob, N., Peiry, J.L., Piégay, H. et Penven, M.J. (2009). Fluvial geomorphology and flood-risk management. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2/2009: 109-128.
- Ayala-Carcedo, F. J., González-Jiménez, Á. Mitigación de desastres en el mundo y desarrollo sostenible: una aproximación al análisis de riesgo. En Ayala-Carcedo *et al.* (Eds.). (2006). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible. Impacto, predicción y mitigación*, (pp. 19-46). Madrid: IGME.
- Ayuntamiento de Biescas. Plan General de Ordenación Urbana. Consultado online en <http://www.biescas.es/index.php/secretaria/plan-general-de-ordenacion-urb.html>, [14.10.15]
- Ayuntamiento de Canfranc. Plan General de Ordenación Urbana. Consultado online en <http://www.canfranc.es/docs/urbanismo/PGOU/normativa.pdf>, [22.09.15]
- Ayuntamiento de Jaca. Plan General de Ordenación Urbana. Consultado online en <http://www.jaca.es/ayuntamiento/plan-general-de-ordenacion-urbana.html>, [13.10.15].
- Ayuntamiento de Sabiñánigo. Plan General de Ordenación Urbana, consultado online en <http://www.sabinanigo.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/idpag.93/idmenu.1197/chk.530c1fe148e3b2d002f8401dc0bcd6e5.html>, [15.10.15].

- Ayuntamiento de Villanúa. Plan General de Ordenación Urbana. Consultado online en http://www.villanua.net/mod_downloads/downloads/download_file/39, [13.10.15].
- Balica, S. and Wright, N.G. (2010). Reducing the complexity of the flood vulnerability index. *Environmental Hazards*, 9(4): 321-339.
- Balica, S. F. and Wright, N. G. (2009). A network of knowledge on applying an indicator-based methodology for minimizing flood vulnerability. *Hydrological Processes*, 23(20) : 2983–2986.
- Ballais, J.L., Garry, G. et Masson, M. (2005). Contribution de l'hydrogéomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation: le cas du Midi méditerranéen français. *Comptes Rendus Geoscience*, 337: 1120-1130.
- Bechler-Carmaux, N. , Mietton, M. et Lamotte, M. (2000). Le risque d'inondation fluviale à Niamey (Niger). Aléa, vulnérabilité et cartographie. *Annales de Géographie*, 612: 176-187.
- Begum, S., Stive, M.J.F. and Hall, J.W. (2007). *Flood risk management in Europe. Innovation in policy and practice*. Springer, 534 p., Dordrecht.
- Bodoque, J.; Díez, A.; Martín-Duque, J.F.; Sanz, M.A. & Marcelo, G. (2003). Effects of Historical Urban Development on Flood Hazard: The Clamores River Watershed and the Town of Segovia (Central Spain). In: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat (Eds.), *Palaeofloods, Historical Data & Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment* (Proceedings of the PHEFRA International Workshop, Barcelona, 16-19th October, 2002), Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC), 52, 341-346. ISBN 84-921958-2-7; D.L. M-30464-2003
- Bouma, J.J., François, D. and Troch, P. (2005). Risk assessment and water management. *Environmental Modelling and Software*, 20: 141-151.
- Bryant, E. (1991) *Natural Hazards*. 294pp. Cambridge University Press. Cambridge.
- Büchele, B., Kreibich, H. Kron, A. Thieken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B. and Nestmann, F. (2006). Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 485-503.
- Camarasa, A.M., López García, M.J. y Soriano, J. (2007). Cartografía de vulnerabilidad frente a inundaciones en llanos mediterráneos. Caso de estudio del barranc de Carraixet y rambla de Poyo. *Serie Geográfica*, 14: 75-91.

- Camarasa, A.M. y Soriano, J. (2008). Peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación en ramblas mediterráneas: los llanos de Carraixet y Poyo. *Cuadernos de Geografía*, 83: 1-26.
- CEDEX. (2012). Longitudes de tramos de los ríos. Datos de estaciones foronómicas. *Anuario de aforos 2011-2012*. Consultado online en http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-cdr_datos.asp?gr_cuenca_id=9, [07.11.15].
- CEDEX. (2013). Aportaciones mensuales 1949/1950-2011/2012 del río Aragón en Jaca. *Anuario de aforos 2011-2012*. Consultado online en <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/temp/resultado2857.txt>, [16.09.15].
- CEDEX. (2013). Aportaciones mensuales 1949/1950-2011/2012 del río Gállego en Anzánigo. *Anuario de aforos 2011-2012*. Consultado online en <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/temp/resultado5115.txt>, [16.09.15].
- CEDEX. (2013). Caudales mensuales 1949/1950-2011/2012 del río Aragón en Jaca. *Anuario de aforos 2011-2012*. Consultado online en <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/temp/resultado9198.txt>, [16.09.15].
- CEDEX. (2013). Caudales mensuales 1949/1950-2011/2012 del río Gállego en Anzánigo. *Anuario de aforos 2011-2012*. Consultado online en <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/temp/resultado8115.txt>, [16.09.15].
- Chave, S. (2002). Pertinence de la cartographie hydrogéomorphologique dans l'approche des inondations rares à exceptionnelles: exemples de sept bassins fluviaux dans les Corbières et le Minervois. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 8(4): 297-306.
- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2009). Informe del río Aragón para el Plan Hidrológico del Ebro 2010-2015. Consultado online en <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=3569&idMenu=2738>, [01.07.15].
- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2009). Informe del río Gállego para el Plan Hidrológico del Ebro 2010-2015. Consultado online en <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=3589&idMenu=2748>, [01.07.15].
- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2012). Memoria de la Fase I de la Directiva Inundaciones. Consultado online en <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=23881&idMenu=3940>, [27.08.15].

- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2014). Memoria de la Fase II de la Directiva Inundaciones. Consultado online en <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=34443&idMenu=4340>, [27.08.15].
- De Bruijn, K.M., Klijn, F., Öllfert, A., Penning-Rowsell, E., Simm, J. and Wallis, M. (2009) *Flood risk assessment and flood risk management*. FLOODsite Consortium, 151 p., Delft.
- De Mora Jiménez, E., Díez Herrero, A. (2008). Análisis del riesgo de inundación en localizaciones puntuales: el edificio Sabatini (Toledo). En: I. Galindo Jiménez, L. Laín Huerta, M. Llorente Isidro (Eds.), *El estudio y la gestión de los riesgos geológicos*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos, nº 12, Capítulo 3, 39-52, Madrid, IGME y Consorcio de Compensación de Seguros (MEH).
- Décamps, H. (2007). La vulnérabilité des systèmes socioécologiques aux événements extrêmes: exposition, sensibilité, resilience. *Natures Sciences Sociétés*, 15: 48-52
- Del Valle, J.; Ollero, A.; Sánchez, M. (2007). *Atlas de los ríos de Aragón*. Prames, S.A. Zaragoza.
- Díez, A. (1997). El riesgo hidrológico en la planificación municipal. *Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua*, I.- La planificación frente a los riesgos hidrológicos. Senado, 24 y 25 de noviembre.
- Díez, A. Y Sanz, M.A. (1997). Análisis del riesgo de inundaciones en Navaluenga (Ávila): uso combinado de modelos y sistemas de información geográfica. *I Seminario Iberoamericano sobre Nuevas Tecnologías y Gestión de Catástrofes*, Sesión A- Inundaciones. Dirección General de Protección Civil (Ministerio del Interior), Rivas-Vaciamadrid (Madrid), 22-26 de Septiembre.
- Díez Herrero, A. (1999). Utilización de los SIGs en el análisis del riesgo de inundación en el Alto Alberche (Cuenca del Tajo). En: L. Laín Huerta (Ed.), *Los Sistemas de Información Geográfica en los Riesgos Naturales y en el Medio Ambiente*, Capítulo 3, pp. 47-68, ITGE (Ministerio de Medio Ambiente), Madrid.
- Díez Herrero, A., Llorente, M., Ballesteros, J.A. y Ruiz Villanueva, V. (2009). Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2009(17.3): 254-263

- Eiser, J.R., Bostrom, A., Burton, I., Johnston, D.M., McClure, J., Paton, D., van der Pligt, J. and White, M.P. (2012). Risk interpretation and action: A conceptual framework for responses to natural hazards. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1: 5-16.
- Environment Agency. (2009). *Flooding in England: a national assessment of flood risk*. UK Environment Agency, Bristol.
- España. Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil. *Boletín Oficial del Estado*, núm.22, de 25 de enero de 1985, pp. 2092-2095. Consultado online en <https://www.boe.es/boe/dias/1985/01/25/pdfs/A02092-02095.pdf>, [26.08.15].
- España. Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. *Boletín Oficial del Estado*, núm.103, de 30 de abril de 1986, pp.15500-15537. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/1986/04/30/pdfs/A15500-15537.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas. *Boletín Oficial del Estado*, núm.209, de 31 de agosto de 1988, pp.26412-26425. Consultado online en <https://www.boe.es/boe/dias/1988/08/31/pdfs/A26412-26425.pdf>, [23.10.15].
- España. Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil. *Boletín Oficial del Estado*, núm.105, de 1 de mayo de 1992, pp. 14868-14870. Consultado online en <https://www.boe.es/boe/dias/1992/05/01/pdfs/A14868-14870.pdf>, [26.08.15].
- España. Resolución de 4 de julio de 1994, de la Secretaría de Estado de Interior, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros sobre criterios de asignación de medios y recursos de titularidad estatal a los planes territoriales de Protección Civil. *Boletín Oficial del Estado*, núm.170, de 18 de julio de 1994, p.22899. Consultando online en <http://www.boe.es/boe/dias/1994/07/18/pdfs/A22899-22899.pdf>, [26.08.15].

- España. Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de interior, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. *Boletín Oficial del Estado*, núm.38, de 14 de febrero de 1995, pp. 4846-4858. Consultado online en <https://www.boe.es/boe/dias/1995/02/14/pdfs/A04846-04858.pdf>, [26.08.15]
- España. Real Decreto 1123/2000, de 16 de junio, por el que se regula la creación e implantación de unidades de apoyo ante desastres. *Boletín Oficial del Estado*, núm.156, de 30 de junio de 2000, pp.23411-23414. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2000/06/30/pdfs/A23411-23414.pdf>, [26.08.15].
- España. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. *Boletín Oficial del Estado*, núm.176, de 24 de julio de 2001, pp.26791-26817. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2001/07/24/pdfs/A26791-26817.pdf>, [27.08.15].
- España. Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional (vigente hasta 21.10.15). *Boletín Oficial del Estado*, núm.161, de 6 de julio de 2001, pp.24228-24250. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2001/07/06/pdfs/A24228-24250.pdf> , [27.08.15].
- España. Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. *Boletín Oficial del Estado*, núm.157, de 2 de julio de 2002, pp.23910-23927. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2002/07/02/pdfs/A23910-23927.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto 967/2002, de 20 de septiembre, por el que se regula la composición y régimen de funcionamiento de la Comisión Nacional de Protección Civil. *Boletín Oficial del Estado*, núm.236, de 2 de octubre de 2002, pp.34894-34896. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2002/10/02/pdfs/A34894-34896.pdf>, [26.08.15].
- España. Ley 30/2002, de 17 de diciembre, de Protección Civil y Atención de Emergencias de Aragón. *Boletín Oficial del Estado*, núm.21, de 24 de enero de 2003, pp.3182-3196. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2003/01/24/pdfs/A03182-03196.pdf>, [26.08.15].
- España. Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. *Boletín Oficial del Estado*, núm.149, de 23 de junio de 2005, pp.21846-21856. Consultado online en <https://www.boe.es/boe/dias/2005/06/23/pdfs/A21846-21856.pdf>, [27.08.15].

- España. Real Decreto 285/2006, de 10 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1123/2000, de 16 de junio, por el que se regula la creación e implantación de unidades de apoyo ante desastres. *Boletín Oficial del Estado*, núm.70, de 23 de marzo de 2006, pp.11294-11297. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2006/03/23/pdfs/A11294-11297.pdf>, [26.08.15].
- España. Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. [Derogada por Ley 21/2013]. *Boletín Oficial del Estado*, núm.102, de 29 de abril de 2006, pp.16820-16830. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2006/04/29/pdfs/A16820-16830.pdf>, [27.08.15].
- España. Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE). *Boletín Oficial del Estado*, núm.171, de 19 de julio de 2006, pp.27109-27123. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2006/07/19/pdfs/A27109-27123.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas. *Boletín Oficial del Estado*, núm.30, de 3 de febrero de 2007, pp.5118-5120. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2007/02/03/pdfs/A05118-05120.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. *Boletín Oficial del Estado*, núm.162, de 7 de julio de 2007, pp.29361-29398. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2007/07/07/pdfs/A29361-29398.pdf>, [23.10.15].
- España. Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional. *Boletín Oficial del Estado*, núm.287, de 30 de noviembre de 2007, pp.49215-49229. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2007/11/30/pdfs/A49215-49229.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo. *Boletín Oficial del Estado*, núm.154, de 26 de junio de 2008, pp.28482-28504. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2008/06/26/pdfs/A28482-28504.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto 1383/2009, de 28 de agosto, por el que se determina la composición, estructura orgánica y funcionamiento del Consejo Nacional del Agua. *Boletín Oficial del Estado*, núm.209, de 29 de agosto de 2009, pp.73913-73918. Consultando online en <https://www.boe.es/boe/dias/2009/08/29/pdfs/BOE-A-2009-13929.pdf>, [23.10.15].

- España. Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. *Boletín Oficial del Estado*, núm.171, de 15 de julio de 2010, pp.61954-61967. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2010/07/15/pdfs/BOE-A-2010-11184.pdf>, [27.08.15].
- España. Resolución de 2 de agosto de 2011, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 29 de julio de 2011, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones. *Boletín Oficial del Estado*, núm.210, de 1 de septiembre de 2011, pp.95063-95100. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2011/09/01/pdfs/BOE-A-2011-14277.pdf>, [27.08.15].
- España. Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. *Boletín Oficial del Estado*, núm.296, de 11 de diciembre de 2013, pp.98151-98227. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2013/12/11/pdfs/BOE-A-2013-12913.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto 670/2013, de 6 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 abril, en materia de registro de aguas y criterios de valoración de daños al dominio público hidráulico. *Boletín Oficial del Estado*, núm.227, de 21 de septiembre de 2013, pp.74620-74661. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2013/09/21/pdfs/BOE-A-2013-9775.pdf>, [27.08.15].
- España. Real Decreto 129/2014, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. *Boletín Oficial del Estado*, núm.52, de 1 de marzo de 2014, pp.19421-19615. Consultado online en <http://www.boe.es/boe/dias/2014/03/01/pdfs/BOE-A-2014-2223.pdf>, [23.10.15].
- España. Resolución de la Dirección General del Agua por la que se anuncia la apertura del período de consulta e información pública de los documentos “Propuesta de Proyecto de revisión del Plan Hidrológico, Proyecto de Plan de Gestión del Riesgo de Inundación y Estudio Ambiental Estratégico” correspondientes al proceso de planificación 2015-2021 de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. *Boletín Oficial del Estado*, núm.315, de 30 de diciembre de 2014, pp.62164-62165. Consultado online en <https://www.boe.es/boe/dias/2014/12/30/pdfs/BOE-B-2014-45881.pdf>, [10.09.15].

- España. Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. *Boletín Oficial del Estado*, núm.219, de 12 de septiembre de 2015, pp.80582-80677. Consultado online en <https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>, [23.10.15].
- Evans, E.P., Simm, J.D., Thorne, C.R., Arnell, N.W., Ashley, R.M., Hess, T.M., Lane, S.N., Morris, J., Nicholls, R.J., Penning-Rowsell, E.C., Reynard, N.S., Saul, A.J., Tapsell, S.M., Watkinson, A.R., Wheeler, H.S. (2008). *An update of the Foresight Future Flooding 2004 qualitative risk analysis*. The Pitt Review, Cabinet Office, London.
- García-Ruiz, J. M.; Puigdefabregas, J.; Creus, J. (1985). *Los recursos hídricos superficiales del Altoaragón*, 2. Instituto de Estudios Altoaragoneses (CSIC). Huesca.
- García-Ruiz, J.M.; Beguería, S.; López-Moreno, J.I.; Lorente, I.; Seeger, M. (2001). *Los recursos hídricos superficiales del Pirineo aragonés y su evolución reciente*. Geoforma Ediciones. Logroño.
- Givone, P. (2005). Détermination des risques d'inondation, effets de l'aménagement de l'espace. *Comptes Rendus Geoscience*, 337: 229-241.
- Gobierno de España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. (2011). *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Madrid.
- Hall, J. W., Sayers, P. B., Dawson, R. J. (2005). National-scale Assessment of Current and Future Flood Risk in England and Wales. *Natural Hazards*, 36; 147-164.
- Instituto Aragonés de Estadística. Estadística local. Consultado online en <http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonésEstadística/ÁreasGenericas/ci.EstadísticaLocal.detalleDepartamento>, [28.08.15].
- Karmakar, S., Simonovic, S.P., Peck, A. and Black, J. (2010). An information system for risk-vulnerability assessment to flood. *Journal of Geographic Information System*, 2(2): 129-146.
- Lane, S.N., Odoni, N., Landström, C., Whatmore, S.J., Ward, N. and Bradley, S. (2011). Doing flood risk science differently: an experiment in radical scientific method. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 36: 15-36.
- Lane, S.N., November, V., Landström, C. and Whatmore, S. (2013). Explaining rapid transitions in the practice of flood risk management. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2): 330–342.

- Lastra, J., Fernández, E., Díez Herrero, A. and Marquínez, J. (2008). Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Natural Hazards*, 45: 277-293.
- Ledoux, B. (2006) *La gestion du risque inondation*. 770pp. Lavoisier. Paris
- Lelièvre, M.A., Buffin-Bélanger, T. et Morneau, F. (2008). L'approche hydrogéomorphologique pour la cartographie des zones à risque d'inondation dans les vallées de petites et moyennes tailles: un exemple commenté pour la vallée de la Rivière-au-Renard. En Locat, J., Perret, D., Turmel, D., Demers, D. et Leroueil, S. (Eds.), *Comptes rendus de la 4e Conférence Canadienne sur les Géorisques: des causes à la gestion*. Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.
- Luino, F. (2003). Flooding vulnerability of a town in the Tanaro basin: the case of Ceva (Piedmont - Northwest Italy). En Thorndycraft, V.R., Benito, G., Barriendos, M. and Llasat, M.C., *Palaeofloods, historical floods and climatic variability: applications in flood risk assessment* (Proceedings of the PHEFRA workshop, Barcelona, 16-19th October, 2002), 321-326.
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E. and Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394: 118-133.
- Martínez Escribano, A. (2013). Análisis del riesgo de inundación en Motilla del Palancar (Cuenca, España). *Investigaciones Geográficas*, 59: 183-197.
- Mateu, J.F. (1990). Avenidas y riesgo de inundación en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 10: 45-86.
- Merz, B., Hall, J., Disse, M. and Schumann, A. (2010). Fluvial flood risk management in a changing world. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10: 509-527.
- Morelli, S., Segoni, S., Manzo, G., Ermini, L. and Catani, F. (2012). Urban planning, flood risk and public policy: The case of the Arno River, Firenze, Italy. *Applied Geography*, 34: 205-218.
- Okazawa, Y., Yeh, P.J.F., Kanae, S. and Oki, T. (2011). Development of a global flood risk index based on natural and socio-economic factors. *Hydrological Sciences Journal*, 56(5): 789-804.

- Ollero, A.; Sánchez, M.; Marín, J.M.; Fernández, D.; Ballarín, D.; Mora, D.; Montoro, R.; Beguería, S.; Zúñiga, M., (2004). Caracterización hidromorfológica del río Gállego. *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos.*, pp. 117-129. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico. Zaragoza.
- Ollero, A. (2014). *Guía metodológica sobre buenas prácticas en gestión de inundaciones. Manual para gestores.* Contrato del río Matarraña, ECODES.
- Ollero, A. (2015). Un necesario cambio de visión y de estrategia en la gestión de las inundaciones. *Tecnoaqua*, 12: 122-124.
- Pattison, I. (2010). *Rural Land Management Impacts on Catchment Scale Flood Risk.* Doctoral thesis, Durham University.
- Pattison, I. and Lane, S.N. (2011). The link between land-use management and fluvial flood risk: A chaotic conception? *Progress in Physical Geography*, 36(1): 72-92
- Pérez Morales, A. (2011). Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58: 57-81.
- Pérez Morales, A., Gil Guirado, S. and Olcina, J. (2015). Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish south-eastern coast (1975–2013). *Journal of Flood Risk Management*, DOI: 10.1111/jfr3.12207.
- Ramsbottom, D. and Packman, J. (2004). Catchment flood management planning: catchment modeling for assessing flood risk and mitigation measures. *Hydrology: science and practice for the 21st century, Proceedings of the British Hydrological Society Conference*, 466-473, British Hydrological Society.
- Ribas, A., Roset, D. y Pujadas, M. (1995). Planeamiento urbanístico y zonación de espacios inundables. Una aplicación a la ciudad de Girona. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, III(106) 841-859.
- Rosso, R. and Rulli, M.C. (2002). An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: 2. Effects of changes in land-use under a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(3): 285-294.
- Ruin, I., Creutin, J.D., Anquetin, S., Grunfest, E. and Lutoff, C. (2009). Human vulnerability to flash floods: addressing physical exposure and behavioural questions. In Samuels, P., Huntington, S., Allsop, W. and Harrop, J. (Eds) *Flood risk management: research and practice*, 1005-1012, Taylor & Francis, London.

- Saint-Michel, M. (2008). *Analyse des enjeux et de la vulnérabilité au risque d'inondation du fleuve Charente: l'exemple de Saintes*. Mémoire de fin d'Etudes, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 63 p. + anexos.
- Sánchez, M.; Ollero, A.; Del Valle, J., (2004). La red fluvial de Aragón. *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos.*, pp. 55-70. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico. Zaragoza.
- Sánchez-Martínez, F.J. y Lastra, J., (coords). (2011). *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 349 p., Madrid.
- Sayers, P., Yuanyuan, L., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Fuxin, S., Kang, W., Yiwei, C. and Le Quesne, T. (2013). *Flood risk management: a strategic approach*. UNESCO, 202 p., Paris.
- Serrano-Notivol, R., Liesa, B., Mora, D., Ollero, A., Revuelto, C., Sánchez Fabre, M., Sanz, P. y Saz, M.A. (2015). Vulnerabilidad del territorio ante crecidas relámpago en el Pirineo Central: alternativas de gestión del riesgo. *Actas del II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial Restauraríos 2015*, 677-681, Pamplona.
- Soares Frazão, S., Alcrudo, F., Mulet, J., Noël, B., Testa, G., Zech, Y. (2007). The Impact European Research Project on Flood Propagation in Urban Areas: Experimental and Numerical modeling of the Influence of Buildings on the Flow. En Begum, S., Stive, M.J.F. and Hall, J.W. (2007) *Flood risk management in Europe. Innovation in policy and practice*. Springer, 534 p., Dordrecht.
- Suárez, D. C. (2003). Sumario de indicadores e índices relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo por eventos naturales. *Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos de Desastres Naturales*. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. Instituto de Estudios Ambientales. Manizales (Colombia).
- Thompson, A., Clayton, J. and Young, R. (2001). Flood risk assessment for planning in Wales. *Irish National Hydrology Seminar "Flood risk management: impact on planning and development"*, 66-77, Tullamore.
- Tollan, A. (2002). Land-use change and floods: what do we need most, research or management? *Water Science and Technology*; 45(8): 183-190

- Unión Europea. Decisión 95/308/CE del Consejo, de 24 de julio de 1995, relativa a la celebración, en nombre de la Comunidad, del Convenio sobre la protección y uso de los cursos de agua transfronterizos y los lagos internacionales. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L186, de 5 de agosto de 1995, pp.42-58. Consultado online en <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:31995D0308>, [27.08.15]
- Unión Europea. Directiva 96/61/CE, del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L257, de 10 de octubre de 1996, pp.26-40. Consultado online en <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:31996L0061>, [27.08.15].
- Unión Europea. Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L327, de 22 de diciembre de 2000, pp.1-73. Consultado online en http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2000.327.01.0001.01.SPA, [27.08.15].
- Unión Europea. Decisión 2001/792/CE, del Consejo, de 23 de octubre de 2001, por la que se establece un mecanismo comunitario para facilitar una cooperación reforzada en las intervenciones de ayuda en el ámbito de la protección civil. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L297, de 15 de noviembre de 2001, pp.7-11. Consultado online en http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2001.297.01.0007.01.SPA, [27.08.15].
- Unión Europea. Directiva 2003/4/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2003, relativa al acceso del público a la información medioambiental y por la que se deroga la Directiva 90/313/CEE del Consejo. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L 41, de 14 de febrero de 2003, pp.26-32. Consultado online en http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2003.041.01.0026.01.SPA, [27.08.15].
- Unión Europea. Directiva 2003/35/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de mayo de 2003, por la que se establecen medidas para la participación del público en la elaboración de determinados planes y programas relacionados con el medio ambiente y por la que se modifican, en lo que se refiere a la participación del público y el acceso a la justicia, las Directivas 85/337/CEE y 96/61/CE del Consejo. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L156, de 25 de junio de 2003, pp.17-25. Consultado online en http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2003.156.01.0017.01.SPA, [27.08.15].

- Unión Europea. Comunicación de la Comisión de 12 de julio de 2004, <<Gestión de los riesgos de inundación – Prevención, protección y mitigación de las inundaciones>>. No publicada en el Diario Oficial. Portal Web EUR-Lex. Consultado online en <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=URISERV:I28146>, [27.08.15].
- Unión Europea. Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L 288, de 6 de junio de 2007, pp.27-34. Consultado online en http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2007.288.01.0027.01.SPA, [27.08.15].
- Van Manen, S.E. and Brinkhuis, M. (2005). Quantitative flood risk assessment for Polders. *Reliability Engineering & System Safety*, 90 (2-3), 229-237.
- Vinet, F. (2010). *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*. Tec & Doc Lavoisier, 318pp., Paris.
- Weather, H. and Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy*, 26S: S251-S264.
- Wheeler, H.S., Jackson, B.M., McIntyre, N. (2009). Modelling effects of rural land management on flood risk. *Proceedings of Water, Environment, Energy and Society* (Vol. 1), p524-529.
- Wisner, B., Baikie, P., Cannon, T. and Davis, I. (2003). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters* (three chapters online), 2nd edition.
- Zonenstein, J., Miguez, M.G., De Magalhães, L.P.C., Valentin, M.G. and Mascarenhas, F.C.B. (2008). Flood risk index as an urban management tool. *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh.

ANEXOS

